

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzické geografie a geoekologie

Studijní program: Geografie (navazující magisterské studium)

Studijní obor: Fyzická geografie a geoekologie



Bc. Jan Votýpka

**PROMĚNY PŮDNÍHO KRYTU A RELIÉFU V DŮSLEDKU
ZVÝŠENÉ DYNAMIKY EROZNĚ AKUMULAČNÍHO PROCESU
NA VYBRANÝCH LOKALITÁCH**

**SOIL AND TERRAIN CHANGES AS A RESULT OF INCREASED
EROSION AND ACCUMULATION PROCESSES IN SELECTED
LOCATIONS**

Diplomová práce

Praha 2015

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Luděk Šefrna, CSc.

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a literaturu jsem řádně citoval. Tato práce ani jakákoliv její část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 13. srpna 2015

.....
Jan Votýpka

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce RNDr. Lud'ku Šefrnovi, CSc. za jeho cenné rady, ochotu a čas, který mi věnoval při vypracovávání práce. Dále bych rád poděkoval všem, kteří mi pomáhali s náročnými pracemi v terénu i posléze s vypracováním samotné práce. Chci poděkovat také paní Chaloupecké z ČÚZK za poskytnutí mapových podkladů digitálního modelu reliéfu. Významná slova díky patří i mým rodičům a přítelkyni za jejich velkou a jen stěží docenitelnou podporu po dobu mého studia.

Zadání práce

Název práce:

Proměny půdního krytu a reliéfu v důsledku zvýšené dynamiky erozně akumulární činnosti na vybraných lokalitách

Cíle práce:

- 1) Zhodnotit změnu půdního krytu na vybraných lokalitách
- 2) Na základě získaných dat popsat některé vlastnosti koluvizemí vznikajících akumulací erodovaného materiálu
- 3) Vymodelovat původní tvar reliéfu před počátkem působení půdotvorných a erozně akumulárních procesů na vybraných lokalitách

Metody:

Rešerše odborné literatury, vlastní terénní výzkum, zpracování mapových podkladů v prostředí ArcGIS

Zájmová území:

Pro zpracování diplomové práce byly vybrány 3 lokality – Brumovice (okres Břeclav), Vysoká (okres Mělník), Oblík (okres Louny)

Zdroje dat:

- 1) Odborná literatura
- 2) Vlastní data získaná v terénu
- 3) Mapové podklady ČÚZK a Arcdata Praha

Datum zadání diplomové práce: 2. 3. 2014

Jméno řešitele: Bc. Jan Votýpka

Jméno vedoucího práce: RNDr. Luděk Šefrna CSc.

Proměny půdního krytu a reliéfu v důsledku zvýšené dynamiky erozně akumulčního procesu na vybraných lokalitách

Abstrakt

Koluvizemě vznikají akumulací materiálu v důsledku zvýšené intenzity erozní činnosti. Jsou spojeny se specifickou pozicí v reliéfu, nachází se v místech akumulace erodovaného materiálu. Nejčastěji se vyskytují při úpatích svahů. Koluvizem se vyznačuje hloubkou akumulovaného horizontu > 25 cm a také velkým množstvím organického materiálu pohřbeného v ní. Ve své práci se zabývám charakteristikou koluvizemí ve 3 lokalitách s různými převládajícími půdními typy. Cílem práce je také vymodelování původního tvaru reliéfu před počátkem erozního procesu.

Klíčová slova: koluvizem, eroze půdy, akumulace půdy, využití půdy, digitální model reliéfu (DMR)

Soil and terrain changes as a result of increased erosion and accumulation processes in selected locations

Abstract

Colluvial soils are formed in areas with increased intensity of soil erosion. Colluvial soils originate as a result of their position in terrain, they are usually found in places where has accumulated erosion material. Very often they are to be found at the around of slopes. Their accumulation horizon is deeper than 25 cm with a great amount of organic carbon buried in it. In my diploma thesis I will attempt to take a closer look at three locations, each having different types of dominant soils. The aim of this diploma thesis is to rebuild the original shape of the terrain before the beginning of the soil erosion process.

Keywords: colluvial soil, soil erosion, soil accumulation, land use, digital terrain model (DTM)

OBSAH

PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK.....	8
SEZNAM OBRÁZKŮ	9
SEZNAM TABULEK.....	12
1. Úvod	13
2. Literární přehled.....	14
2.1 Eroze půdy	14
2. 1. 1 Vodní eroze	15
2. 1. 2 Větrná eroze.....	20
2. 1. 3 Eroze půdy orbou	22
2. 1. 4 Historie eroze půdy ve Střední Evropě.....	24
2.2 Koluvizem.....	26
2. 2. 1 Morfologie koluvizemí	28
2. 2. 2 Pozice koluvizemí v terénu	28
2. 2. 3 Vlastnosti koluvizemí	29
3. Výběr lokalit a jejich fyzicko geografická charakteristika	31
3.1 Výběr lokalit.....	31
3.2 Fyzicko geografická charakteristika zájmových území	33
3. 2. 1 Lokalita Brumovice	33
3. 2. 2 Lokalita Vysoká.....	35
3. 2. 3 Lokalita Oblík.....	37
4. Metodika	40
4. 1 Práce v terénu	40
4.2 Zpracování získaných dat.....	41
4. 3 Práce v prostředí GIS	42
5. Výsledky.....	44

5. 1 Lokalita Brumovice.....	44
5. 1. 1 Půdní kryt lokality	44
5. 1. 2 Vývoj reliéfu v lokalitě.....	48
5.2 Lokalita Vysoká	51
5. 2. 1 Půdní kryt lokality	51
5. 2. 2 Vývoj reliéfu v lokalitě.....	55
5.3 Lokalita Oblík	58
5. 3. 1 Půdní kryt lokality	58
5. 3. 2 Vývoj reliéfu v lokalitě.....	62
6. Shrnutí výsledků a diskuse.....	65
6. 1 Půdní kryt vybraných lokalit.....	65
6. 2 Vývoj reliéfu ve vybraných lokalitách	67
7. Závěr	69
ZDROJE	70
Literatura	70
Internet	73
Mapové podklady.....	75

PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK

apod.	a podobně
BPEJ	B onitovaná p ůdně e kologická j ednotka
ČÚZK	Č eský ú řad z eměměřický a k atastrální
ČŽU	Č eská z emědělská u niverzita v Praze
DMR	D igitální m odel r eliéfu
DTM	D igital T errain M odel = digitální model reliéfu
et al.	et alii = a jiní (též a kolektiv)
FAO	F ood and A griculture O rganization = organizace OSN pro výživu a zemědělství
GIS	G eografický i nformační s ystém
HCl	Kyselina chlorovodíková
HPJ	H lavní p ůdní j ednotka = zaujímá druhé a třetí místo kódu BPEJ
KPP	K omplexní p růzkum p ůd
KFGG	K atedra f yzické g eografie a g eoekologie
např.	například
RUSLE	R evised U niversal S oil L oss E quation = revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy
TIN	T riangulated I rrregular N etwork = nepravidelná trojúhelníková síť
TTP	T rvalý t ravní p orost
USDA	U nited S tates D epartment of A griculture = ministerstvo zemědělství Spojených států amerických
USLE	U niversal S oil L oss E quation = univerzální rovnice ztráty půdy
VÚMOP	V ýzkumný ú stav m eliorací a o chrany p ůdy
WRB	W orld R eference B ase for Soil Resources = světový referenční systém půd
ZPF	Z emědělský p ůdní f ond

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Těžba sedimentu v Luhačovické přehradě na Zlínsku	15
Obrázek 2: Erozní rýhy ve svahu v oblasti Prahy 14.....	16
Obrázek 3: Eroze půdy v kukuřici, Kladno u Hlinska, okres Chrudim, rok 1998	19
Obrázek 4: Prachové bouře jsou příkladem pohybu částic v suspenzi	21
Obrázek 5: Rozdíl v erozi a depozici materiálu mezi erozí orbou a vodní erozí.....	23
Obrázek 6: Rozorání mezí na počátku 50. let.....	26
Obrázek 7: Schéma pohřbívání starších vrstev v koluvizemi.....	27
Obrázek 8: Koluvizem na Jižní Moravě, mocná několik metrů	29
Obrázek 9: Poloha zájmové lokality Brumovice v rámci ČR.....	31
Obrázek 10: Poloha zájmové lokality Vysoká v rámci ČR	32
Obrázek 11: Poloha zájmové lokality Oblík v rámci ČR	32
Obrázek 12: Snímek lokality Brumovice.....	34
Obrázek 13: Kobylské jezero na vojenské mapě z roku 1840	34
Obrázek 14: Krajinný pokryv okolí lokality Brumovice v roce 1953	35
Obrázek 15: Snímek lokality Vysoká	36
Obrázek 16: Letecký snímek okolí lokality Vysoká z roku 1954	37
Obrázek 17: Letecký snímek zájmového území v lokalitě Oblík	38
Obrázek 18: Jižní svah Oblíku na mapě stabilního katastru (1. pol 19. století).....	39
Obrázek 19: Letecký snímek jižního svahu Oblíku v roce 1952	39
Obrázek 20: Sonda pro odběr vzorků v lokalitě Oblík:	41
Obrázek 21: Ukázka sítě provedených sond z lokality 3 Oblík.....	41
Obrázek 22: Důkaz výrazné eroze v lokalitě, zachycené kamerou na autě při mapování v květnu 2013.....	44
Obrázek 23: Příčné řezy (1 – 3) a lomený podélný řez (I) hloubky A horizontu půdy v lokalitě Brumovice.....	45
Obrázek 24: Příčný řez 1 (směr z A do B) lokalitou Brumovice.....	46
Obrázek 25: Příčný řez 2 (směr z C do D) lokalitou Brumovice.....	46
Obrázek 26: Příčný řez 3 (směr z E do F) lokalitou Brumovice.....	46
Obrázek 27: Lomený podélný řez I (směr z G do H) lokalitou Brumovice.....	47
Obrázek 28: Profil sondy pro odběr vzorků půdy v lokalitě Brumovice	47
Obrázek 29: Topografické mapy lokality dnes (1) a před počátkem erozně akumulárního procesu (2)	49

Obrázek 30: 3D modely reliéfu lokality Brumovice, vlevo pod číslem 1 dnešní stav, vpravo pod číslem 2 stav původní.....	49
Obrázek 31: Porovnání sklonitosti v lokalitě dnes (1) a před počátkem erozně akumulárního procesu (2)	50
Obrázek 32: Oblasti vývoje reliéfu v lokalitě Brumovice, posuzováno podle hloubky humózního horizontu	51
Obrázek 33: Příčné řezy (1 – 3) a lomený podélný řez (I) hloubky A horizontu půdy v lokalitě Vysoká	52
Obrázek 34: Příčný řez 1 (směr z A do B) lokalitou Vysoká	53
Obrázek 35: Příčný řez 2 (směr z C do D) lokalitou Vysoká	53
Obrázek 36: Příčný řez 3 (směr z E do F) lokalitou Vysoká	53
Obrázek 37: Lomený podélný řez (směr z G do H) I lokalitou Vysoká	54
Obrázek 38: Profil sondy pro odběr vzorků půdy v lokalitě Vysoká	55
Obrázek 39: Topografické mapy lokality dnes (1) a před počátkem erozně akumulárního procesu (2)	56
Obrázek 40: 3D modely reliéfu lokality Vysoká, vlevo pod číslem 1 dnešní stav, vpravo pod číslem 2 stav původní.....	56
Obrázek 41: Porovnání sklonitosti v lokalitě dnes (1) a před počátkem erozně akumulárního procesu (2)	57
Obrázek 42: Oblasti vývoje reliéfu v lokalitě Vysoká, posuzováno podle hloubky humózního horizontu	58
Obrázek 43: Příčné řezy (1 – 3) a lomený podélný řez (I) hloubky A horizontu půdy v lokalitě Oblík	59
Obrázek 44: Příčný řez 1 (směr z A do B) lokalitou Oblík	59
Obrázek 45: Příčný řez 2 (směr z C do D) lokalitou Oblík	60
Obrázek 46: Příčný řez 3 (směr z E do F) lokalitou Oblík	60
Obrázek 47: Lomený podélný řez (směr z G do H) I lokalitou Oblík	60
Obrázek 48: Profil sondy pro odběr vzorků půdy v lokalitě Oblík.....	61
Obrázek 49: Topografické mapy lokality dnes (1) a před počátkem erozně akumulárního procesu (2)	62
Obrázek 50: 3D modely reliéfu lokality Oblík, vlevo pod číslem 1 dnešní stav, vpravo pod číslem 2 stav původní.....	62
Obrázek 51: Porovnání sklonitosti v lokalitě Oblík dnes (1) a před počátkem erozně akumulárního procesu (2).....	63

Obrázek 52: Oblasti vývoje reliéfu v lokalitě Oblík, posuzováno podle hloubky humózního horizontu	64
Obrázek 53: Vývoj půdních typů od posledního glaciálu.....	65
Obrázek 54: Agrární val, svědčící o dřívějším intenzivním využívání pozemku, které umožnilo vznik koluvizemě	66
Obrázek 55: Aktuální snímek lokality Brumovice v březnu 2015	68

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Rozdělení R faktoru pro Střední Čechy v jednotlivých měsících (%)	17
Tabulka 2: Nejvyšší hodnoty faktoru K podle kódu HPJ.....	17
Tabulka 3: Nejnižší hodnoty faktoru K podle kódu HPJ	17
Tabulka 4: Land use a průměrná roční odtoková výška v povodí Labe.....	25
Tabulka 5: Vlastnosti půdy v lokalitě Brumovice (zjišťováno v průzkumné sondě pro odběr vzorků půdy).....	48
Tabulka 6: Vlastnosti půdy v lokalitě Vysoká (zjišťováno v průzkumné sondě pro odběr vzorků půdy).....	54
Tabulka 7: Vlastnosti půdy v lokalitě Oblík (zjišťováno v průzkumné sondě pro odběr vzorků půdy).....	61

1. Úvod

Povrch Země se neustále vyvíjí působením exogenních i endogenních činitelů, které spolu navzájem úzce souvisejí a jejich společnou činností vzniká více či méně členitý georeliéf (Demek 1987). Jednou ze základních součástí povrchu Země je pedosféra, která má velký význam pro udržení života na Zemi a patří mezi základní přírodní bohatství. Přesto dochází i díky antropogenní činnosti k její nenávratné degradaci. Významným faktorem, který přispívá k degradaci půdy, je zvýšená dynamika eroze půdy. Například v České republice je ohroženo vodní erozí 50% zemědělské půdy a dalších 10% ZPF ohrožuje eroze větrná. V poslední době se navíc stále hlasitěji hovoří o negativních dopadech eroze půdy orbou, která dle odborné literatury působí škody v minimálně stejné výši jako eroze vodní. Erodovaná půda vykazuje výrazně horší fyzikální i chemické vlastnosti, sníženou úrodnost a zmenšení mocnosti půdního profilu (Janeček 2007).

Ke zvýšení dynamiky eroze půdy začal ve Střední Evropě již před cca 7500 lety přispívat antropogenní faktor (Lüning et al. 1997), jež je spojen s počátkem intenzivního zemědělského využívání krajiny. V důsledku změny land use došlo ke zvýšení intenzity eroze půdy, což vede nejen k nenávratné degradaci půdního krytu, ale také k rozvoji akumulčních oblastí erodovaného materiálu (Dotterweich 2013). Půdy, které vznikají v oblastech, kde poklesne schopnost vody dále unášet erodovaný materiál, se v české taxonomii nazývají koluvizemě (Němeček et al. 2011). Vyplňují především prostor při úpatích svahů. Vyznačují se vysokou mocností akumulovaného humózního horizontu a také velkým obsahem pohřbeného půdního uhlíku.

Celý erozně akumulční proces je přirozeným jevem, reliéf se jeho vlivem postupně vyrovnává a teoreticky by při nerušeném velmi dlouhodobém vývoji vznikl zarovnaný povrch, odborně nazývaný parovina (peneplén). Problém je ovšem jeho zrychlení vlivem antropogenní činnosti.

2. Literární přehled

2.1 Eroze půdy

Eroze je rozhodujícím faktorem, který ohrožuje hospodaření na půdě (Buzek 1983). Pojem eroze půdy se běžně začal užívat na přelomu 30. a 40. let minulého století a je odvozen z latinského slova „erodere“ – rozhlodávat (Janeček et al. 2002). Jedná se o destruktivní účinek exogenních činitelů na půdní povrch (Holý 1994). Dochází k rozrušování a následnému odnosu půdní hmoty a k jejímu ukládání v místech poklesu účinnosti erozních faktorů. Celý proces eroze lze rozdělit do 3 částí. První je uvolnění částic půdní hmoty, druhou jejich transport a třetí fází je ukládání materiálu v místech, kde již není k dispozici dostatek energie, jež by částice dále transportovala.

Eroze patří mezi rychlé svahové pochody, její rychlost se pohybuje v intervalu mm/h až m/h (Demek 1987). Vlivem eroze dochází ke snižování svahů, přičemž intenzita tohoto procesu se zpomaluje snižujícím se sklonem a výškou svahů. Při dlouhodobém vývoji může tedy georeliéf teoreticky dospět až do stadia zarovnaného povrchu, který W. M. Davis (1909) nazval peneplénem (parovinou). Erozní činnost je tedy naprosto přirozeným jevem (výjimku tvoří eroze půdy orbou), problémem se ovšem stalo její výrazné zrychlení v důsledku antropogenní činnosti.

Při zrychlené erozi dochází k nenávratné ztrátě půdy a ohrožení i dalších částí ekosystému transportovanými látkami (Holý 1994). Eroze ochuzuje zemědělskou půdu o nejurodnější svrchní část ornici, zhoršuje fyzikálně – chemické vlastnosti půd, zmenšuje mocnost půdního profilu, zvyšuje štěrkovitost, snižuje obsah živin a humusu v půdě, poškozují plodiny a kultury nebo znesnadňuje pohyb strojů po pozemcích (Janeček et al. 2002). Toto je jen výběr z mnoha neblahých důsledků eroze na ZPF. Transportované půdní částice a v nich vázané látky kontaminují vodní zdroje, čímž se úprava vody velmi prodražuje. Na obrázku 1 vidíme zanesení vodní nádrže usazeným materiálem pocházejícím z oblasti postižených intenzivní erozí půdy.



Obrázek 1: Těžba sedimentu v Luhačovické přehradě na Zlínsku
Zdroj: i.idnes.cz

Podle různých erozních činitelů lze rozdělit erozi na vodní, větrnou (eolickou), ledovcovou (glaciální) nebo například sněhovou. V posledních zhruba 30 letech se také velmi rozšířil výzkum antropogenně podmíněné eroze půdy orbou.

2. 1. 1 Vodní eroze

Základním činitelem vodní eroze je srážková voda nebo voda z tajícího sněhu. Při dešťových srážkách je půdní povrch rozrušen kinetickou energií vodních kapek (Buzek 1983). Podle formy probíhající erozní činnosti se vodní eroze dělí na plošnou, rýhovou, a proudovou. Při plošné erozi je půda erodována téměř rovnoměrně po celé ploše pozemku nebo určité části svahu (Zachar 1970). Čím je plocha pozemku rovnější, tím horší jsou podmínky na soustředění vody do rýžek a eroze má tedy rovnoměrnější ráz. Působením plošné eroze se profil půdy postupně ztenčuje, až se v některých případech dostane na povrch půdotvorný substrát. První fází plošné eroze je kapková eroze, jejíž příčinou vznikají v půdě drobné jamky. Poté následuje eroze po nakloněné ploše půdního povrchu. Soustředěním plošného odtoku a postupujícím prohlubování rýžek vznikají erozní rýhy různé velikosti a tvaru (Janeček et al. 2002). Někteří autoři používají také termín výmolová eroze. Rýhová eroze rozděluje svahy na menší části, jejím působením tedy dochází k fragmentaci svahů, jak lze vidět na obrázku 2.



Obrázek 2: Erozní rýhy ve svahu v oblasti Prahy 14

Zdroj: www.geocaching.com

Proudová vodní eroze probíhá ve vodních tocích působením vodního proudu. Pokud je rozrušováno pouze dno koryta, jde o erozi dnovou, jestliže jsou rozrušovány břehy, mluvíme o erozi břehové. Dnová eroze prohlubuje podélnou osu toku, břehová působí kolmo na osu toku.

Průběh a intenzitu erozních procesů ovlivňuje řada přírodních a antropogenních vlivů. Přírodní vlivy jsou klima, topografie, vegetace a půda. Lidský faktor zahrnuje např. hospodaření s půdou, pěstování plodin a protierozní opatření. Všechny tyto parametry jsou s výjimkou klimatu velmi variabilní i na malém území. Proto je odhad ztrát půdy a plánování protierozní ochrany nejefektivnější na lokální bázi (Janeček et al. 2002). Nejdokonalejším vyjádřením faktorů ovlivňujících vodní erozi způsobenou přívalovými dešti je tzv. univerzální rovnice pro výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy z pozemků (Wischmeier, Smith 1978) zkráceně USLE, jejíž tvar je:

$$G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

G je průměrná dlouhodobá ztráta půdy ($\text{t/ha}^{-1}/\text{rok}$), R je faktor erozní účinnosti deště, vyjádřený v závislosti na četnost výskytu, úhrnu, intenzitě a kinetické energii deště. Deště o vydatnosti do 12,5 mm za půl hodiny, oddělené od předchozích a následujících srážkových události šestihodinovou nebo delší přestávkou a deště, jejichž max. intenzita nepřekročí 24 mm/h^{-1} se neuvažují a předpokládá se, že při nich nedochází k odtoku vody po povrchu pozemku. Roční chod přívalových dešťů ukazuje následující tabulka 1. Vyhodnocovány byly jen deště, jejichž úhrn přesahoval 12,5 mm a intenzita 24,5

mm/h⁻¹. Vyplývá z ní, že v období od června do srpna se ve sledovaném území vyskytuje 90% přívalových dešťů a proto je v této době ochrana půdy nejdůležitější. Velké problémy často působí také přívalové deště na konci května, kdy ještě nebývají na orné půdě vzrostlé některé plodiny a holá půda je velmi náchylná k erozi.

Tabulka 1: Rozdělení R faktoru pro Střední Čechy v jednotlivých měsících (%)

Měsíc	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen
%	0,5	7	26,8	32,2	31,1	2	0,4

Zdroj: Janeček et al. 2002

K je faktor erodovatelnosti půdy vyjádřený v závislosti na textuře a struktuře ornice, obsahu organické hmoty a zrnitosti. Vlastnosti půdy ovlivňují infiltrační schopnost půdy a odolnost jejího povrchu proti rozrušujícím účinkům dopadajících kapek deště a transportu povrchovým odtokem. Při určení faktoru K musím znát typ půdy, obsah organické hmoty v ní, zrnitost, půdní strukturu a propustnost (např. Bagarello et al. 2012).

Tabulka 2: Nejvyšší hodnoty faktoru K podle kódu HPJ

kód HPJ	faktor K	kód HPJ	faktor K
09	0,60	13	0,54
14	0,59	45	0,54
43	0,58	10	0,53
42	0,56	11	0,52
44	0,56	15	0,51

Zdroj: Janeček et al. 2007

Tabulka 3: Nejnižší hodnoty faktoru K podle kódu HPJ

kód HPJ	faktor K	kód HPJ	faktor K
21	0,15	30	0,23
04	0,16	18	0,24
31	0,16	22	0,24
37	0,16	40	0,24
32	0,19	23	0,25

Zdroj: Janeček et al. 2007

V tabulkách 2 a 3 vidíme 10 nejvyšších a 10 nejnižších hodnot faktoru K pro HPJ (2. a 3. místo kódu BPEJ). Všechny 10 HPJ s nejvyšší hodnotou faktoru K patří do referenční třídy luvisolů. Jedná se o půdy vzniklé procesem ilimerizace. Při ilimerizaci dochází k migraci jílových minerálů a vzniku jílem obohaceného horizontu B (Němeček et al. 1990). Navíc všechny tyto HPJ vznikly z půdotvorného

substrátu spraší, sprašových hlín nebo ze svahových hlín s výraznou eolickou příměsí. Zrnitostně jsou tyto půdy středně těžké. Právě díky vysokému obsahu prachu, který kinetická energie padajících kapek deště nejlépe rozruší, mají tyto HPJ nevyšší faktor erodovatelnosti půdy K. Nejnižší hodnoty K faktoru mají naopak půdy lehké, snadno propustné. Často se jedná o arenický subtyp. Srážková voda se do nich snadno vsakuje a nedochází tedy k velkému odtoku po povrchu.

L je faktor délky svahu, vyjadřující vliv nepřerušené délky svahu na velikost ztráty půdy erozí. Za účinné přerušení délky pozemku po spádnicí se považují hrázky, sběrný či záchytný průleh nebo příkop, zamezující přetékání vody do níže položených míst (Janeček et al. 2002). Přírodní svahy jsou však většinou nepravidelné a proto bývá určení topografického faktoru výše uvedeným způsobem nepřesné. Rozdíly mezi výpočty topografického faktoru LS pro konkávní, přímé a konvexní svahy byly využity k sestavení tabulek opravných součinitelů.

S je faktor sklonu svahu, vyjadřující vliv sklonu svahu na velikost ztráty půdy erozí

C je faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu, vyjádřený v závislosti na vývoji vegetace a použité agrotechnice. Velmi účinným protierozním faktorem může být vegetační pokryv, který zmírňuje, respektive zabraňuje destrukčním účinkům dopadajících dešťových kapek, podporuje však infiltraci vody do půdy a tím ovlivňuje rychlost a množství povrchově odtékající vody (Buzek 1983). Nepřímo také svým kořenovým systémem zpevňuje půdní kryt a zabraňuje tedy jeho odnosu procesem eroze. Nejlépe je půda chráněna pod lesními porosty (Buzek 1983). Poměrně dobrou ochranu půdnímu krytu poskytují také TTP. Naopak nedostatečně půdu chrání hlavně širokořádkové plodiny (okopaniny, kukuřice).

P je faktor účinnosti protierozních opatření. Zemědělskou půdu na svazích je třeba chránit před vodní erozí vhodnými protierozními opatřeními. Ty jsou aplikovány, pokud je míra eroze vyšší než přípustné hodnoty, které závisí na hloubce půdy. U mělkých půd do 30 cm je přípustná míra eroze nejvýše $1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. S přibývajícím hloubkou půdního profilu se zvyšuje i přípustná míra eroze z jednoho hektaru. Pro středně hluboké půdy (od 30 do 60 cm) je to $4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ a pro půdy hluboké nad 60 cm je přípustná míra eroze až $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Ve většině případů jde o komplex organizačních, agrotechnických a technických opatření, vzájemně se doplňujících a respektujících

současné základní požadavky a možnosti zemědělství. Do kategorie organizačních opatření patří delimitace kultur, ochranné zatravnění a zalesnění, protierozní oseední postupy, pásové pěstování plodin a pozemkové úpravy (Janeček et al. 2002). Protierozní agrotechnická opatření se používají ke zlepšení vsakovací schopnosti půdy, zvýšení její odolnosti proti erozi a vytvoření ochrany jejího povrchu především před přívalovými dešti. Navazují na opatření organizační. Základním principem protierozní ochrany je pěstování plodin s vysokým protierozním účinkem na půdách s vyšším sklonem (vojtěška, jetel, TTP). Technická protierozní opatření slouží k vyrovnání terénních nerovností, ke snížení sklonu velmi svažitých pozemků nebo například k ochraně pozemků proti vodě přitékající z okolních lesů. Používají se, když nelze ztrátu půdy účinně snížit opatřeními organizačními a agrotechnickými. Do skupiny technických opatření patří meze, terasy, příkopy, ochranné hrázky, nádrže a další.



Obrázek 3: Eroze půdy v kukuřici, Kladno u Hlinska, okres Chrudim, rok 1998

Zdroj: www.hydromeliorace.cz

Na základě zkušenosti s používáním univerzální rovnice ztráty půdy (USLE) došlo v 90. letech k jejímu, prověření, aktualizaci a úpravě. Úpravy vedly k určitým změnám ve způsobu stanovení jednotlivých faktorů rovnice, a proto byla tato rovnice nazvána „Revidovaná univerzální rovnice ztráty půdy“ neboli zkráceně RUSLE (Renard et al. 1991). Tvar rovnice zůstává stejný, ovšem u stanovení jednotlivých erozních faktorů došlo ke změnám. RUSLE vyžaduje větší množství vstupních dat, což přináší přesnější výsledky, ale také větší problémy při získávání těchto dat. Rozdíly mezi výsledky

RUSLE a původní USLE se liší v každé modelové lokalitě, závisí totiž na změně jednotlivých koeficientů rovnice (Renard et al. 1991).

2. 1. 2 Větrná eroze

Při větrné erozi jsou půdní částice uvedeny do pohybu vlivem kinetické energie vzdušného proudu. Jedná se o proces řízený interakcí klimatu, vlastností půdy, vegetace a způsobu obhospodařování půdy. Proces větrné eroze je rozšířený zejména v aridních a semiaridních oblastech. Dochází k němu, pokud jsou splněny tři základní podmínky. Vítr musí být dostatečně silný, aby zmobilizoval půdní částice, důležitou roli hrají vlastnosti půdy (například zrnitost, vlhkost) a také musí povrch postrádat vegetaci, kameny nebo sníh (např. Borelli et al. 2014). Proces větrné eroze má několik částí. Zahajuje se vyvátím materiálu z povrchu Země, pokračuje transportem částic, během transportu dochází k abrazi povrchu a končí tříděním a depozicí (Lyles 1988). Rychlost větru, při které překračuje eroze přípustnou mez, se nazývá kritická rychlost. Nejohroženější jsou suché písčité a hlinitopísčité půdní druhy, protože u půd s vyšším obsahem částic jílu dochází ke shlukování do agregátů, které více odolávají větru (Janeček et al. 2002).

Dalším ze základních činitelů působících na intenzitu větrné eroze je vlhkost půdy. Voda v půdě zvyšuje vlivem svého povrchového napětí vzájemnou soudržnost půdních částic. Ve vodě rozpuštěnými anorganickými a organickými látkami jsou půdní částice tmeleny do agregátů, až se tvoří povrchová kůra (krusta).

Vegetační kryt půdy snižuje rychlost větru při půdním povrchu, absorbuje značnou část jeho síly a chrání půdu před přímým nárazem větru. Nejkritičtější obdobím je proto počátek roku a časné jaro, kdy je půda bez vegetace. Nárůst větrné eroze je patrný také na podzim po orbě.

Transport půdních částic při větrné erozi je závislý na jejich velikosti, přičemž dochází ke třem druhům pohybu (Janeček et al. 2002). Částice menší než 0,01 mm se pohybují ve formě suspenze. Jejich pohyb po směru větru může dosáhnout velké vzdálenosti (Lyles 1988). Díky spojení organické hmoty a živin s jemnými půdními frakcemi se jedná o nejúrodnější složku půdy. Nejznámějším projevem suspenze jsou prachové bouře (obrázek 4). Částice sedimentují pouze při poklesu rychlosti větru nebo vlivem atmosférických srážek. Pohyb skokem (saltací) rozeznáváme u částic, které se přesunují

nejčastěji ve výšce do 30 cm nad zemí (Janeček et al. 2002). Tento materiál stoupá od povrchu vzhůru pod poměrně strmým úhlem, ale bývá příliš velký, takže pod vlivem gravitace klesá zpátky na povrch. Zde způsobují velké škody, jelikož rozbíjejí další agregáty, které se pak též uvolňují. Saltace se na celkovém transportu při větrné erozi podílí 50 – 80% (Lyles 1988). Bariéru pro pohyb saltací představují větrolamy, příkopy nebo okraj pásu vegetace ve směru proudění. Třetí variantou pohybu představuje povrchové tečení (surface creep). Tímto mechanismem se pohybují částice, které jsou příliš velké na pohyb saltací. V silném větru se takto plíživě může pohybovat celý povrch (Lyles 1988). Tečení tvoří 7 až 25 % z celkového objemu větrné eroze. Částice se většinou nedostávají příliš daleko od zdrojové oblasti. Celkově při větrné erozi dochází ke zvýšení skeletovitosti půdy, protože jemnější částice jsou odnášeny pryč, na místě působení větrné eroze zůstávají především kamenité vrstvy.



Obrázek 4: Prachové bouře jsou příkladem pohybu částic v suspenzi
Zdroj: geologie.vsb.cz/

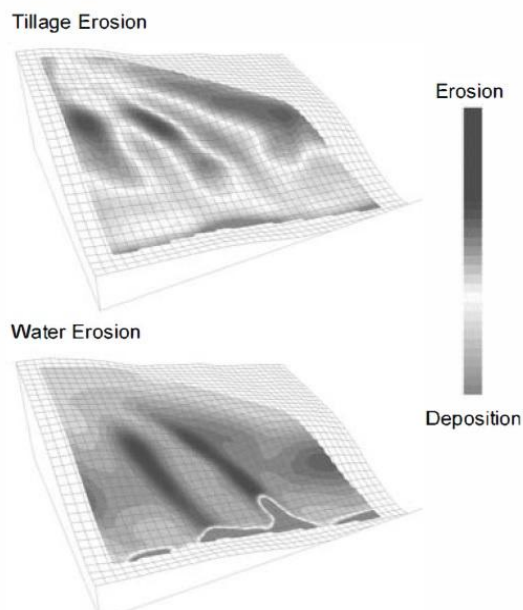
Obecně platí, že větrnou erozi lze snížit buď zmenšením síly větru, která působí na půdní částice anebo vytvořením agregátů na půdním povrchu, jež budou vůči větru odolnější (Lyles 1988). Opatření dělíme na organizační, agrotechnická a technická (biotechnická). Podstatou organizačních opatření je uspořádání pozemků (Janeček et al. 2002). Pozemky by měly mít obdélníkový tvar s delší stranou kolmou na převládající proudění větru, aby všechna kultivační opatření na pozemku byla vedena kolmo na směr větru. Na lehkých půdách bez vegetace by neměla šířka pozemku ve směru převládajícího větru přesáhnout 50 m. Velkou roli hrají také samotné plodiny, které jsou na pozemku pěstovány. Nejvyšší protierozní účinnosti dosahují TTP, víceleté pícniny

(jeteloviny) a ozimé obiloviny. Tyto plodiny chrání půdu i mimo vratní období v nejrizikovější části roku tedy na konci zimy a počátku jara. Agrotechnická opatření jsou časově i finančně náročnější, například z důvodu použití speciálních strojů a postřiků. Půdy náchylné k větrné erozi by neměly být orány, jelikož při orbě se odstraní i zbytky vegetace chránící pozemek (Janeček et al. 2002). Na lehkých půdách je také nutné zvyšování vlhkosti. Jako nejúčinnější agrotechnické opatření se jeví setí do strniště nebo do krycích plodin. Půda při tomto způsobu hospodaření je vždy alespoň částečně chráněna vegetací. Pro snížení rychlosti větru a jeho škodlivého účinku na půdu se používají také technická opatření nebo přirozené překážky. Jako umělé překážky se používají hlavně bariéry z prken či rákosu. Vzhledem k malé výšce ovšem často nemají velký vliv na snížení větrné eroze. Podstatou příznivého účinku přirozených vegetačních zábran neboli větrolamů je snížení rychlosti větru v určité vzdálenosti před i za větrolamem a snížení turbulence vzdušných mas v přízemních vrstvách (Janeček et al. 2002). Účinnost větrolamů závisí na jejich šířce, propustnosti pro vzdušné proudy a druhové skladbě dřevin.

2. 1. 3 Eroze půdy orbou

Eroze půdy orbou patří mezi globální procesy degradace půdy. Působí negativně od počátku obdělávání půdy člověkem. Na rozdíl od vodní a větrné eroze, jejichž účinky jsou v krajině snadno rozeznatelné, se výzkum eroze orbou více rozšířil až v několika posledních desetiletích (Van Oost et al. 2006). Teprve okolo roku 1990 publikovali někteří autoři studie o nižším obsahu organických látek a také nižších výnosech obilí v horních, konvexních částech svahu.

Vždy když se půda orá, dochází k jejímu posunu (Van Oost et al. 2006). Studie ukázaly, že dominantní vliv na posun půdy má sklon, jelikož se jedná o proces řízený gravitací. Nejvyšší je posun na strmých svazích při orbě ve směru sklonu, naopak nejnižší při orbě ve směru stoupání na strmém svahu. Ke ztrátě půdy orbou dochází hlavně v konvexních částech svahu, kde se zvyšuje sklon (Van Oost et al. 2006). Naopak ukládat se půda bude v konkávních svahových polohách. Princip je opačný než u vodní eroze, jelikož k největší ztrátě půdy dochází v místech, kde má vodní eroze nižší účinky. Naproti tomu v úpadech, kde způsobuje vodní eroze největší ztráty, se bude půda při erozi orbou ukládat. Grafické znázornění rozdílu eroze a akumulace materiálu při erozi orbou a vodní erozi je na obrázku 5. Při erozi orbou se snižuje sklon svahu.



Obrázek 5: Rozdíl v erozi a depozici materiálu mezi erozí orbou a vodní erozí

Zdroj: Van Oost et al. 2006

Důkazem eroze půdy orbou je změna půdních vlastností v různých částech svahu. Na vypouklých místech se půda ochuzuje o organické látky a minerály, naproti tomu v dutinách po akumulaci vznikají půdy bohaté na organické látky (koluvizemě). Terénní překážky znamenají pro tento druh eroze bariéru. Na jejich horní straně dochází k akumulaci, na spodní straně poté k erozi půdy. Důležitou roli hrají terénní překážky na malých terasovaných plochách, na velkých plochách mechanizovaného zemědělství je důležitější vliv topografie pozemku (Van Oost et al. 2006).

Erodovatelnost krajiny je náchylnost krajiny k erozi orbou. Důležitou roli hrají topografické poměry, tvar a délka pozemku a také vlastnosti půdy. Na základě této hodnoty, kterou lze vypočítat, stanovujeme doporučenou rychlost a hloubku orby. Dodržování těchto parametrů se ovšem kontroluje velmi složitě.

Mnoho studií již prokázalo vliv eroze na množství dusíku, uhlíku, fosforu v půdě. Eroze ovlivňuje také hloubku a texturu půdy. Dochází k přenosu půdy z konvexních do konkávních prvků pozemku. V místech snižování hloubky půdy se do půdy na konvexních místech pozemků dostávají stále více chudé substráty z podloží, právě zde má velký vliv hloubky orby. Naopak v místech akumulace půdy dochází k obohacování půdy živinami a organickými látkami. Proces eroze orbou tedy vede ke zvyšování variability půd. Studie dokazují, že intenzita eroze roste exponenciálně

s hloubkou orby. Snížení hloubky orby je tedy efektivním opatřením pro snížení tohoto druhu eroze. Velký vliv má také směr orby. Při orbě po vrstevnici je eroze mnohem menší než při kultivaci po spádnici. Na závěr bych ještě podotkl, že ekonomické ztráty způsobené erozí orbou jsou minimálně stejné, ale spíše vyšší než u eroze vodní (Van Oost et al. 2006).

2. 1. 4 Historie eroze půdy ve Střední Evropě

V kvartéru je zvýšená erozní činnost spojena s glaciály (Ložek 1967). Důvodem je, že v dobách teplejších tedy interglaciálech dochází k pokrytí povrchu Země vegetací. Ta jej zpevňuje a brání rozrušení povrchu a následnému odnosu materiálu z něj. Toto obecné pravidlo platilo i v době holocénu, ovšem jen do té doby, než mezi nejvýznamnější krajinnotvorné činitele vstoupil člověk. Tento mezník datujeme ve Střední Evropě do počátku období neolitu, tedy zhruba před 7 500 lety (Lüning et al. 1997).

Mnohé studie ukazují korelaci mezi intenzitou lidských zásahů do krajiny a intenzitou erozní a pochopitelně i akumulární činnosti (Dotterweich 2008). Odezva těchto procesů na intenzitu lidského zásahu se liší v časovém měřítku dnů až roků, podle velikosti zkoumané spádové oblasti.

Počátek zemědělství v neolitu s sebou nese odstranění přirozené vegetace a tedy větší náchylnost půdy k erozi (Dotterweich 2013). Tento efekt ještě v pozdější době znásobuje používání železných nástrojů určených k orbě půdy. Materiál pocházející z erozní činnosti mění vzhled krajiny. Dochází k tvorbě koluvií na úpatích svahů, zanášení terénních depresí i vzniků náplavů podél řek, ve kterých následně mění toky směr proudění během povodňových událostí.

Z období neolitu máme dnes jen velmi málo důkazů o půdní erozi (Dotterweich 2008). Není zcela zřejmé, proč jsou neolitické sedimenty v koluviích zastoupeny jen vzácně. Často se jako vysvětlení této skutečnosti udává malá velikost tehdejších zemědělských pozemků, která zabraňovala velké plošné erozi.

Další vrcholy eroze půdy po neolitu nastaly na konci doby bronzové okolo roku 1000 př. n. l. a mezi lety 200 až 300 n. l. Celková ztráta půdy v období od počátku neolitu do konce doby římské mohla dosáhnout v průměru 4 cm (Bork et al. 1998).

Na počátku středověku došlo k velkému poklesu eroze půdy, jenž následoval po útlumu zemědělské činnosti. S postupujícím časem se intenzita eroze pomalu zvyšuje, jak dochází k opětovné přeměně lesů na zemědělskou půdu. Vrcholem tohoto období je polovina 14. století, kdy zemědělská půda tvořila až 80 % land use Střední Evropy. Devastující účinky eroze v této době podpořily také intenzivní srážky. Ve spraších v Německu dosahovala tehdejší eroze intenzity až $48 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ (Bork et al. 1998). Celé toto nepříznivé období vyvrcholilo velkou srážkovou událostí v červenci roku 1342. Někteří výše citovaní autoři zařazují tyto mimořádné srážky jako významnou erozní událost v celé Střední Evropě, ale české země patrně nezasáhla (Brázdil 2005). Literární prameny hodnotí pokles obyvatel v Evropě před rokem 1350 jako kombinaci epidemie moru a velkého poklesu produkce potravin v důsledku nepříznivého klimatu a zvýšené rychlosti eroze půdy.

Tabulka 4: Land use a průměrná roční odtoková výška v povodí Labe

Rok	Lesy (%)	ZPF (%)	Ostatní (%)	prům. srážky (mm)*	prům. odtok (%)
650	95	3	2	620*	13
1310	20	77	3	620*	31
1964 - 1993	30	63	7	620*	28

Zdroj: Bork et al. 1998

* hodnota úhrnu srážek je průměr z let 1963 – 1994

Tabulka 4 ukazuje, že při stejném úhrnu srážek se v celém povodí Labe mění odtoková výška díky změnám land use. Zvýšené procento odtoku má za následek zrychlení eroze půdy a následně tedy i vyšší intenzitu transportu a akumulace erodovaného materiálu. Hodnota ve vrcholném středověku byla dokonce mírně vyšší než dnes.

Ve druhé polovině 14. století intenzita zemědělství poklesla, snížil se totiž počet obyvatel. Protierozní ochranu často tvořily hranice mezi pozemky, jednalo se o různé strouhy, vodní toky nebo meze. Následně až do 18. století jsou záznamy o erozi jen malé. Čechy a Moravu citelně zasáhly války husitské a mezi lety 1618 – 1648 válka třicetiletá. Ta způsobila velké ztráty na životech, pokles počtu obyvatel a tudíž i intenzity využívání půdy. Navíc v tomto období historické prameny nepodávají příliš mnoho informací o extrémních srážkách (Dotterweich 2013).

Od počátku 18. století se eroze půdy v Čechách objevuje i v sušších oblastech (Buzek 1983). Rostoucí počet obyvatel má za následek potřebu vyrobit více potravin a zemědělství se opět zintenzivňuje. V důsledku toho byla roku 1852 vytvořena první protierozní opatření na našem území. S komplexní ochranou půdy pomocí zalesnění erodované půdy na Jižní Moravě se však začalo až po 2. světové válce (Buzek 1983).

Samotný pojem eroze půdy byl poprvé použit ve 30. letech minulého století (Zachar 1970). V tomto období také ve Spojených státech vznikají první organizace, které mají za úkol ochranu ZPF před erozí. Negativně se na intenzitě eroze podepsalo hlavně postupné zvětšování výměry pozemků a rozorání mezí a teras po 2. sv. válce (obrázek 6).



Obrázek 6: Rozorání mezí na počátku 50. let

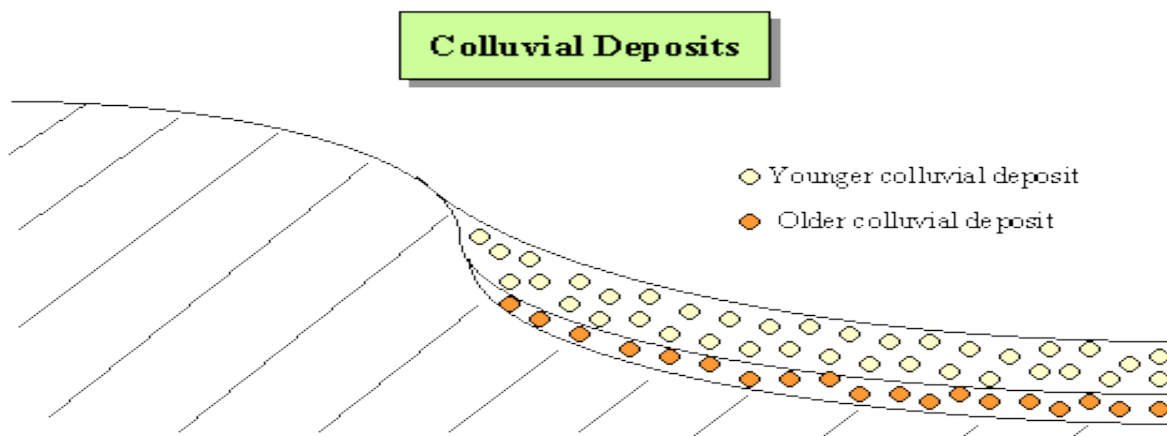
Zdroj: www.ustrcr.cz

Ani transformace zemědělství v 90. letech nepřinesla v oblasti eroze půdy razantní zlepšení situace. Družstva a další v zemědělství podnikající subjekty stále hospodaří na velkých půdních celcích, které mají navíc obvykle jen pronajaté od vlastníků, což situaci jen zhoršuje. Možné zlepšení by mohla přinést realizace projektů komplexních pozemkových úprav, ta však postupuje z důvodu nedostatku finančních prostředků jen velmi pomalu.

2.2 Koluvizem

Koluvizemě jsou půdy vznikající v oblastech zvýšené akumulace půdního materiálu v důsledku zrychlené eroze půdy (Zádorová 2010). Jedná se o poměrně nový půdní typ,

který ještě nebyl v České republice mapovaný a je zahrnut pouze v některých taxonomických systémech. Jejich rozmístění je silně podmíněno reliéfem (Zádorová 2010). Vznikají totiž akumulací erozních sedimentů ve spodních částech svahů, v konkávních prvcích svahů a terénních průlezech (Němeček et al. 2011). Takto se akumuluje 50 – 80 % erodovaných sedimentů (Wang et al. 2010). Vymezení koluvizemí pomůže při hodnocení skutečné míry eroze a datování změn krajinného pokryvu. Samotná koluvizem není obvykle důsledkem jedné významné erozní události, ale sledem postupného usazování tenkých vrstev materiálu (Leopold, Völkel 2006). Dlouhá lidská činnost v určitém území podmiňuje výskyt koluvizemí (Zádorová et al. 2008) a jejich vznik souvisí s intenzitou obdělávání půdy v dané oblasti (Lang 2003). Starší akumulace jsou v koluvizemi překrývány mladšími, jak ukazuje obrázek 9. V klasifikaci WRB lze vyjádřit koluviální charakter půd předponou „colluvic“ (FAO 2006). Koluvizem na spraši s bohatým obsahem humusu lze klasifikovat jako Colluvic Regosol Humic. V americké klasifikaci USDA patří většina koluvizemí do kategorie Entisols. Francouzská klasifikace půd zařazuje tyto půdy do samostatné referenční třídy koluvisolů (INRA 1995). Česká klasifikace zařazuje koluvizemě společně s fluvizeměmi do referenční třídy fluvisoly (Němeček et al. 2011).



Obrázek 7: Schéma pohřbívání starších vrstev v koluvizemi
Zdroj: *soils.ifas.ufl.edu*

Geologická definice pojmu koluvium zahrnuje všechny svahové sedimenty transportované vlivem gravitace i bez antropogenního přičinění. Zahrnuje do koluvii

sedimenty soliflukce, sedimenty vzniklé sesuvy nebo tečením. V geologii jsou tedy koluvia vázána především na období pleistocénu (Růžicková et al. 2001).

2. 2. 1 Morfologie koluvizemí

Koluvizem je půda morfologicky nevýrazná (Zádorová 2010). Je definována přítomností akumulovaného horizontu o určité mocnosti, který se nachází pod ornici. V české taxonomii se tento horizont značí Azx (humózní antropický horizont vzniklý navrstvením materiálu humózních horizontů), jehož minimální mocnost musí být alespoň 0,25 metru. Společně s orničním Ap horizontem tedy tvoří minimálně 0,5 metru mocný humózní horizont (Němeček et al. 2011). Mocnost horizontu Azx nutná pro zařazení půdy mezi koluvizemě se však v různých pedologických klasifikacích liší. Dalším pomocným diagnostickým znakem může být zvrstvení profilu, k němuž dochází při postupné akumulaci rozdílného typu materiálu (například střídání humózního a minerálního materiálu při současné plošné a rýhové erozi). U koluvizemí vzniklých výhradně z humózní půdní hmoty se zvrstvení až na výjimky nevyskytuje (Zádorová 2010). Koluvizemě jsou tedy spíše než morfologií profilu charakterizované specifickou pozicí v reliéfu.

2. 2. 2 Pozice koluvizemí v terénu

Topografie je hlavním faktorem formování půd v klimaticky a geologicky homogenních oblastech (Zádorová et al. 2011). Koluvizemě najdeme v terénu nejčastěji na úpatích svahů, v bočních úpadech a suchých údolích, v místech prudkého poklesu sklonu svahu, za terénními překážkami (přírozenými i umělými) současnými (náspy cest) i zaniklými. Po naplnění koluviálního rezervoáru jsou sedimenty transportovány do nivy, kde jsou formovány polygenetické půdy tvořené fluviálním a koluviálním materiálem (Zádorová 2010). Nejlépe vyvinuty poté bývají nikoliv u úpatí svahů, ale především za terénními překážkami a v suchých údolích (Zádorová et al. 2008).

Říční niva je v pohledu pedologa úzce vázána na půdní typy. Nejvíce ji charakterizují fluvizemě, tedy půdy vznikající opakovanou sedimentací materiálu. Půdní mozaiku doplňují gleje. V tomto pojetí je niva chápána jako součást transportně depozičního systému vodního toku a půdní složení je odrazem intenzity a rychlosti ukládání přemisťovaného materiálu a jeho vlastností (Zádorová 2010). Pedologický pohled je ovšem jen jedna z několika možností vymezení nivy. Geologie a geomorfologie vidí nivu jako rovinné údolní dno, aktivované při povodňovém stavu vodního toku, které je

tvořeno mladými (holocenními) sedimenty, jejichž úložné poměry často vykazují nepravidelnosti (Langhammer et al. 2007). Právě mezi množstvím sedimentů nebývá lehké určit rozdíl mezi fluvizemí a koluvizemí (Zádorová et al. 2008). Oba tyto půdní typy vykazují i velkou pedogenetickou příbuznost, vznikly totiž periodickým ukládáním materiálu. V obou případech se jedná o vývojově mladé, bezstrukturní půdy s malou morfologickou výrazností. Analytické znaky, které by se měly lišit, vykazují často shodné znaky, což ukazuje na smíchání koluviálního a fluviálního materiálu v nivě (Zádorová 2010).



Obrázek 8: Koluvizem na Jižní Moravě, mocná několik metrů
Zdroj: vlastní fotografie autora

Podle umístění na svahu lze koluvizemě rozdělit do 3 typů (Lang 2003). Jako první uvádí autor koluvizemě uložené v místech nízkého sklonu svahu na rozhraní svahu a nivy. Druhým způsobem je uložení v malých depresích přímo na svahu a zde autor nerozlišuje, zda se jedná o deprese přírodního či antropogenního původu. Třetí možností jsou poté koluvizemě v místech změny směru orby nebo u hranic jednotlivých pozemků (Lang 2003).

2. 2. 3 Vlastnosti koluvizemí

Fyzikální a chemické vlastnosti koluvizemí jsou zkoumány především ve vztahu vlivu erozních a akumulčních procesů na celkovou úrodnost půd. Primárně jsou vlastnosti

koluvizemí odvozeny z charakteristiky půdního materiálu, jehož depozicí vznikají. Na jejich vlastnostech se podílí i charakter erozního procesu a následného transportu půdní masy i specifické vlastnosti jednotlivých pozemků (Zádorová 2010). Řada již ukončených výzkumů potvrdila, že eroze půdy má na její úrodnost nepříznivý vliv, díky odnosu živin, organických látek a koloidů. Všechny tyto látky by se měly akumulovat v konkávních částech svahů. Koluvizem by tedy měla být o ně obohacena. Tato skutečnost však platí jen do doby, dokud není v horní části obnažen půdotvorný substrát. Poté dochází k odnosu nehumózního materiálu, který je o tyto látky ochuzen. Svrchní část profilu koluvizemě je pak překryta právě tímto materiálem. Přesto obecně lze konstatovat, že koluvizemě bývají většinou bohaté na organické látky.

Pro koluvizemě je typická vysoká koncentrace půdního uhlíku, který pochází z erodovaných půd a je ukládán v místech akumulace (Zádorová et al. 2011). Tento jev je významný pro celý globální cyklus uhlíku (Wang et al. 2014). Obsah organické hmoty je přitom základním ukazatelem kvality půd. V normálních aerobních podmínkách je většina uhlíku zapraveného do půd ve formě biomasy nestabilní (mineralizuje) a jenom 1 % humifikuje a akumuluje se (Marek et al. 2011). Množství uhlíku v půdě výrazně ovlivňují agrotechnické operace zemědělství jako je orba, sečení či hnojení statkovými hnojivy. Obsah půdního uhlíku v koluvizemi zpočátku rychle mineralizuje a uvolňuje se, ale s přibývajícím stářím materiálu a jeho pohřbíváním klesá i rychlost rozpadu půdního uhlíku (Wang et al. 2014).

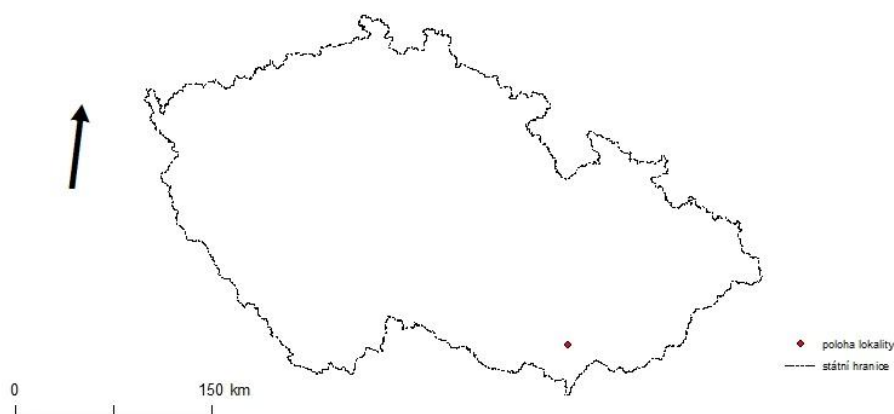
Hodnoty vypočtené pro svrchních 30 cm půdního horizontu nevyjadřují skutečné množství oxidovatelného organicky vázaného uhlíku (C_{ox}) v půdě (Marek et al. 2011). Mocnost horizontu A se u našich půd pohybuje od centimetrových hodnot (litosoly) do 50 – 60 cm u černosolů a organických reduktomorfních půd (gleje a stagnogleje v různém stupni zrašelinění). V prvním případě nedochází k závažnému zkreslení výsledků, ale u černozemí a černic je skutečné množství až 2 krát větší. U koluvizemí jsou tyto rozdíly největší, jelikož akumulovaný humusový horizont dosahuje často hloubek v řádu několika metrů (Marek et al. 2011).

.

3. Výběr lokalit a jejich fyzicko geografická charakteristika

3.1 Výběr lokalit

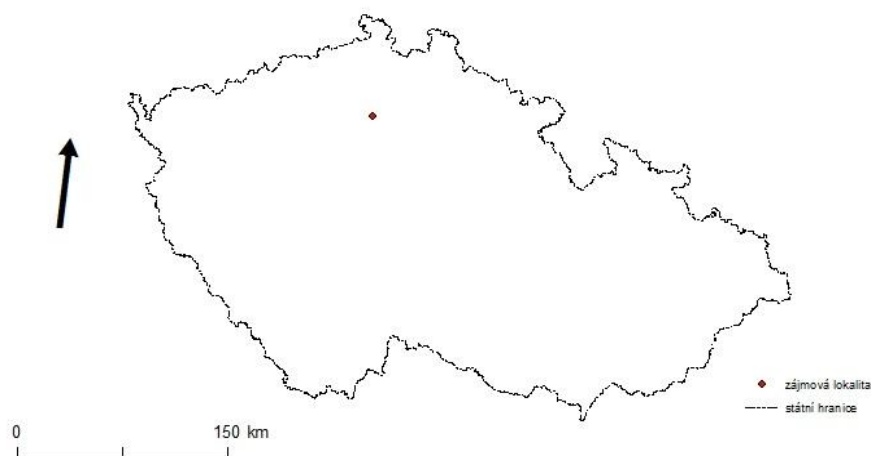
Lokalita 1 Brumovice ležící v okrese Břeclav, jejíž poloha je na obrázku 1, byla vybrána, kvůli doložené existenci mocného koluviálního horizontu Azx. Jedná se o intenzivně využívanou oblast s poměrně strmými svahy, které dosahují sklonu až 17°. Vzhledem k úrodnosti půdy a příznivému klimatu je oblast dlouhodobě intenzivně zemědělsky využívána. Již delší dobu se zde provádí výzkum v rámci KFGG. Má práce částečně navazuje na obhájenou dizertační práci (Zádorová 2010), kde jednou ze zájmových lokalit byla právě tato. Plocha této lokality je 4, 76 ha.



Obrázek 9: Poloha zájmové lokality Brumovice v rámci ČR
Zdroj: databáze ArcČR verze 3.0

Lokalitu 2 Vysoká najdeme v okrese Mělník (obrázek 2) a byla vybrána díky znalosti půdních vlastností lokality, které jsem získal při terénním cvičení pod vedením RNDr L. Šefrny CSc. v květnu 2014. Jedná se o tradiční projekt, kde KFGG spolupracuje s univerzitou Štrasburk (Francie). Právě při pedologickém výzkumu v rámci tohoto cvičení, byl podle morfologie terénu vytipován pozemek na dně suchého údolí, kde se následně potvrdila sondami přítomnost koluviálního horizontu mocného několik metrů. Jedním z důvodů výběru této lokality, bylo také porovnání intenzity koluviace v černozemi a hnědozemi, jelikož v lokalitě Vysoká je stejně jako u lokality 1 půdotvorným substrátem spraš. V lokalitě 2 se na tomto substrátu vyvinuly hnědozemě, které jsou dle koeficientů rovnice USLE vůbec nejohroženějším půdním

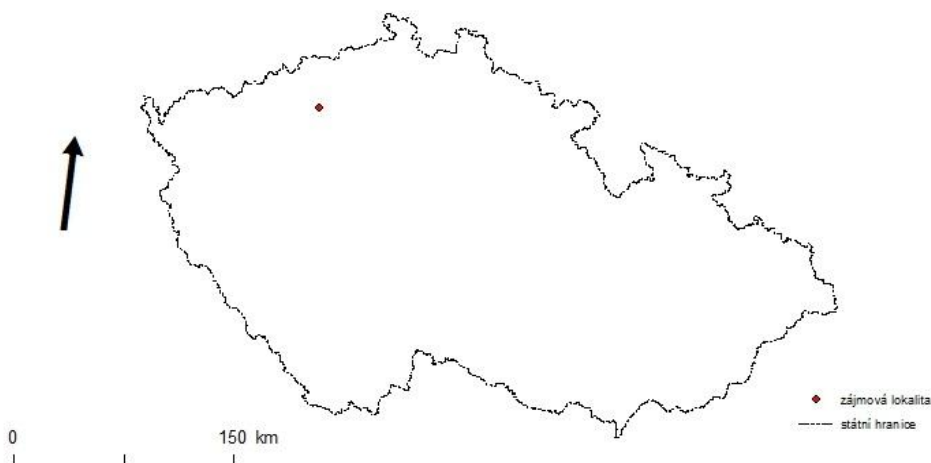
typem na našem území díky velkému obsahu prachových částic. Plocha lokality Vysoká je 3, 22 ha.



Obrázek 10: Poloha zájmové lokality Vysoká v rámci ČR

Zdroj: databáze ArcČR verze 3.0

Lokalita 3 Oblík leží v okrese Louny (obrázek 3) a představuje jednu z nejvýznamnějších stepních lokalit v České republice (Kuna 2010). Motivací pro výběr byla jednak návaznost na diplomovou práci (Tomsu 2014), ale především přítomnost koluviálních horizontů na sklonitém jižním svahu kopce. Tyto horizonty dosahují mnohem menší mocnosti než u lokalit 1 a 2, avšak ukazují, že i v lokalitách dnes pokrytých TTP lze najít koluvizemě jako pozůstatek dřívějšího intenzivního využívání této lokality. Plocha lokality je 0,61 ha.



Obrázek 11: Poloha zájmové lokality Oblík v rámci ČR

Zdroj: databáze ArcČR verze 3.0

3.2 Fyzicko geografická charakteristika zájmových území

3. 2. 1 Lokalita Brumovice

Zájmová oblast je součástí vnější, okrajové části Západních Karpat. Byla zformována procesy alpínského vrásnění (Chlupáč et al. 2002). Jedná se o tzv. Flyšové Karpaty, pro které je typické střídání písčitých a jílovitých sedimentů. Zájmová lokalita patří do vnější skupiny příkrovů, konkrétně do její ždánické jednotky (Chlupáč et al. 2002). Ve ždánické jednotce dominují mezi horninami jílovce.

Tuto lokalitu lze v rámci geomorfologického členění České republiky zařadit následovně: provincie – Západní Karpaty, soustava (subprovincie) – Vnější Západní Karpaty, podsoustava (oblast) – Střemoravské Karpaty, celek – Ždánický les, podcelek – Boleradická vrchovina (Demek et al. 1987)

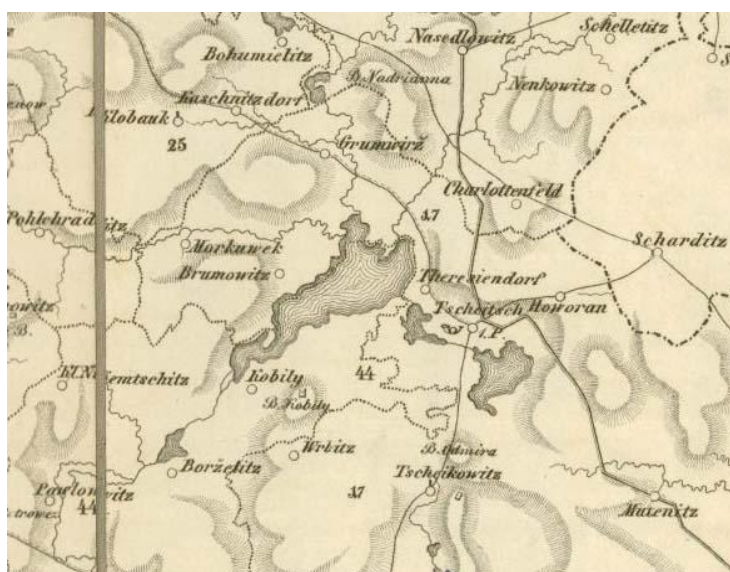
Průměrná roční teplota vzduchu se v letech 1961 – 2000 pohybovala mezi 9 - 10° C. Roční úhrn srážek zde v průměru dosahuje ve stejném období hodnot 450 - 500 mm. V soustavě BPEJ, kde 1. číslo 5 - místného kódu označuje klimatický region, patří lokalitě Brumovice kód 0. Dle popisu v soustavě BPEJ se jedná o region velmi teplý s průměrnými ročními teplotami 9 - 10° C a průměrným ročním úhrnem srážek 500 - 600 mm (Janeček 1994). Základem pro zařazení lokality do klimatického regionu v soustavě BPEJ jsou data naměřená v letech 1901 – 1950. Hodnota R faktoru, který v rovnici USLE označuje erozní účinnost deště, byla pro tuto lokalitu stanovena na 63, 68 (VÚMOP 2015).



Obrázek 12: Snímek lokality Brumovice

Zdroj: vlastní fotografie autora

Hydrologicky patří lokalita do úmoří Černého moře. Zájmový pozemek leží nedaleko malého toku Haraska, jde se o povodí 6. řádu. Haraska se vlévá do Spáleného potoka, ten hned o několik stovek metrů dále v místech bývalého Kobylského jezera do Trkmanky, která je levým přítokem Dyje. Velkou zajímavostí ležící dříve jen několik kilometrů od zájmové lokality je Kobylské jezero. Jednalo se o jedno ze dvou jezer s brakickou vodou na Jižní Moravě. Mělo rozlohu okolo 10 km² a hloubku až 10 m. Bylo vysušeno v 1. polovině 19. století (Danihelka 2009). Později se v depresi začala opět hromadit voda, aby v roce 1965 bylo koryto Trkmanky prohloubeno a jezero definitivně vysušeno.

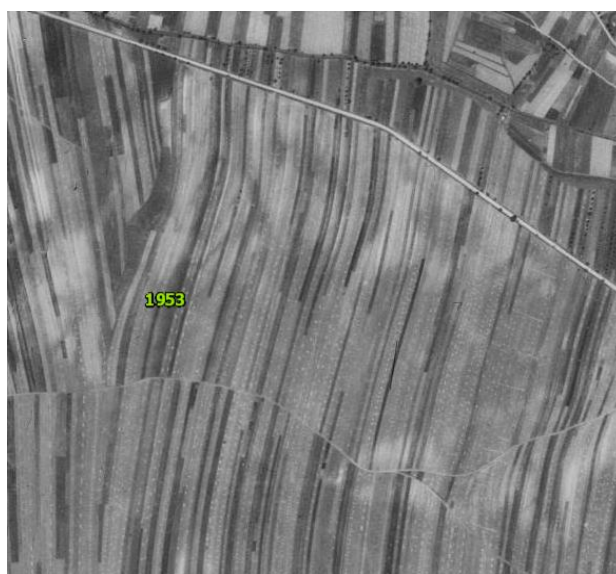


Obrázek 13: Kobylské jezero na vojenské mapě z roku 1840

Zdroj: www.geocaching.com

Lokalita patří do oblasti černozemí (Tomášek 2003), ty však dnes pokrývají jen malé oblasti především na rozvodí v horní části pozemku. Tomuto faktu se budu obsáhleji věnovat v další části práce. Půdotvorný substrát tvoří spraše. Kód BPEJ pro tuto lokalitu je 30840, hlavní půdní jednotkou jsou zde dle této klasifikace založené na výsledcích KPP černozem modální.

Oblast patří do severopanonské biogeografické podprovincie, která je výrazně teplomilná (Culek et al. 1996). Potenciální přirozenou vegetací (po vyloučení jakýchkoliv dalších zásahů člověka) je v lokalitě sprašová doubrava (Neuhäuslová et al. 1998). Charakteristickými stromy jsou dub zimní, dub letní a dub šipák. Tyto porosty bychom našli v ČR pouze na Jižní Moravě, především na černozemích, proto byly vykáceny z největší části již v neolitu (Neuhäuslová et al. 1998). Krajinný pokryv dnes tvoří především orná půda, která byla při kolektivizaci zemědělství v minulém století scelená do velkých bloků. Obrázek 14 ukazuje stav krajinného pokryvu před kolektivizací.



Obrázek 14: Krajinný pokryv okolí lokality Brumovice v roce 1953

Zdroj: kontaminace. cenia. cz

3. 2. 2 Lokalita Vysoká

Oblast leží v České křídové pánvi, která vznikla asi před 95 miliony let, kdy moře zaplavilo severní a východní část Českého masivu. Pánev byla od začátku vyplňována sladkovodními, poté i mořskými sedimenty. Tato pánev se rozkládá od Drážďan po SZ Moravu (Chlupáč et al. 2002). Na geologické stavbě oblasti se podílí především pískovce jizerského souvrství, které jsou typické pro oblast Kokořínska.

Geomorfologické zařazení oblasti je následující: provincie – Česká vysočina, soustava (subprovincie) – Česká tabule, oblast – Středočeská tabule, celek – Jizerská tabule, podcelek – Dolnojizerská tabule (Balatka, Kalvoda 2006)

Průměrná roční teplota se pohybuje v letech 1961 až 2000 mezi 8 – 9° C. Průměrný roční úhrn srážek ve stejném období je 550 – 600 mm (Tolasz et al. 2007). V soustavě BPEJ patří lokalita do klimatického regionu teplého a mírně vlhkého (kód 3) s průměrnou roční teplotou 8 – 9°C a průměrný ročním úhrnem srážek 550- 650 mm (Janeček 1994). Hodnota R faktoru byla pro tuto lokalitu stanovena na 67,63 (VÚMOP 2015).

Hydrologicky patří lokalita Vysoká do povodí říčky Pšovky, která se následně v Mělníku vlévá z pravé strany do Labe. Jde tedy o povodí 2. řádu, které patří pochopitelně do úmoří Severního moře.

Podle půdní mapy malého měřítka patří lokalita do oblasti pararendzin (Tomášek 2003). Provedený výzkum v rámci výše zmíněného terénního cvičení ukázal, že v okolí lokality na závětrných svazích (JV svahy) najdeme především hnědozemě na sprašovém půdotvorném substrátu, na návětrných svazích (SZ svahy) především regosoly arenické na chudých, zrnitostně lehkých substrátech. Kód v soustavě BPEJ pro zájmovou lokalitu Vysoká je 30840, hlavní půdní jednotce je tedy přiřazen stejný kód jako u lokality Brumovice, na rozdíl od ní se zde jedná především o hnědozemě.



Obrázek 15: Snímek lokality Vysoká
Zdroj: vlastní fotografie autora

Lokalita leží v Kokořínském bioregionu, jehož hlavní ráz udávají pískovce (Culek et al. 1996). Často zde nacházíme ve strmých roklicích fenomén vegetační inverze. Na zdejších chudých substrátech je potenciální přirozenou vegetací acidofilní biková, jedlová, březová nebo borová doubrava (Neuhäuslová et al. 1998). Jedná se o typické společenstvo chudých substrátů v nížinné a pahorkatinném stupni Střední Evropy. Dnes převažuje v okolí lokality intenzivně využívaná orná půda, stejně jako u lokality 1 scelená v rámci kolektivizace. Zbytky mezí v okolí jsou silně zasaženy invazí akátu.



Obrázek 16: Letecký snímek okolí lokality Vysoká z roku 1954
Zdroj: kontaminace. cenia. cz

3. 2. 3 Lokalita Oblík

Oblík leží v oblasti sasko – durynské, ta zasahuje do Čech jen svou okrajovou JV částí. Patří do ní Krušné hory a oblasti vázané na oherský (ohárecký) rift, v jehož podloží také najdeme staré krystalické horniny. Ten vznikl v terciéru po vyklenutí Českého masivu a jeho následného kolapsu v době alpínského vrásnění (Chlupáč et al. 2002). Na oherský (ohárecký) rift je vázána vulkanická činnost, která probíhala v Českém středohoří přibližně před 40 – 18 miliony let. Oblík je tvořen bazalty, které jsou typické pro České středohoří, především pro jeho okrajové části, kde právě Oblík leží.

Geomorfologické zařazení lokality Oblík je následující: provincie – Česká vysočina, soustava (subprovincie) – Krušnohorská, oblast – Podkrušnohorská, celek – České středohoří, podcelek – Milešovské středohoří, 509 m, výrazný suk, protažený ve směru SV – JZ, nejvyšší bod okrsku Ranské středohoří (Balatka, Kalvoda 2006).



Obrázek 17: Letecký snímek zájmového území v lokalitě Oblík
Zdroj: mapy.cz

Průměrná roční teplota se na Oblíku pohybovala mezi 8 – 9° C, jedná se o průměr z let 1961 – 2000. Průměrný roční úhrn srážek mezi lety 1961 – 2000 dosahuje hodnot 450 – 500 mm (Tolasz et al. 2007). Právě suché klima je jednou ze základních podmínek existence stepní vegetace na jižním svahu Oblíku. V soustavě BPEJ je lokalitě přiřazen kód 1, který značí teplý a suchý region s průměrnou roční teplotou 8 – 9°C a průměrným ročním úhrnem srážek do 500 mm (Janeček 1994). Hodnota R faktoru rovnice USLE v lokalitě je 68, 73 (VÚMOP 2015).

Jižní svah Oblíku odvodňuje Dobroměřický potok, jež je levým přítokem řeky Ohře. Jedná se o povodí 3. řádu, které také patří do úmoří Severního moře.

Typické pro Oblík jsou kambizemě (Tomášek 2003), které jsou velmi bohaté na organickou složku. Obsah oxidovatelného uhlíku v nich dosahuje přes 3%. V soustavě BPEJ má lokalita přiřazen kód 12844, vyplývá z něj mimo jiné, že dle KPP převažuje v lokalitě HPJ 28, která reprezentuje kambizemě na bazických horninách.

Oblík patří do Milešovského bioregionu, který zabírá většinu Českého středohoří (Culek et al. 1996), pro který jsou typické izolované vulkanické suky s teplomilnými doubravami a vyvinutou stepí. Právě Oblík je jednou z nejznámějších stepních lokalit v České republice. Kromě bezlesí v podobě skalní stepi je přirozeným potenciálním přirozeným pokryvem černýšová dubohabřina. Jde o plošně nejrozšířenější typ dubohabřin v České republice. Nejčastějším půdním pokryvem v těchto lokalitách jsou

kambizemě (Neuhäuslová et al. 1998). Dnes zde v okolí zájmové lokality převažují TTP, které byly dříve ornou půdou, což dokazuje i mapa stabilního katastru.



Obrázek 18: Jižní svah Oblíku na mapě stabilního katastru (1. pol 19. století)
zdroj: ČÚZK



Obrázek 19: Letecký snímek jižního svahu Oblíku v roce 1952
Zdroj: kontaminace. cenia. cz

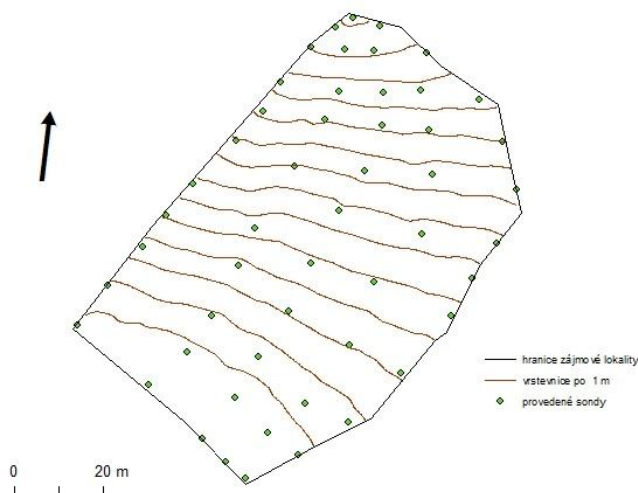
4. Metodika

4. 1 Práce v terénu

Terénní průzkum ve všech lokalitách byl prováděn především v období září až listopad 2014, další doplňující informace byly poté získány sondami v březnu 2015. Zájmové území je v lokalitách 1 a 2 vymezeno povodím, ze kterého veškerá voda směřuje do závěrového profilu v nejnižším místě lokality. V lokalitě Oblík je zájmová lokalita menší rozlohy ohraničena antropogenními agrárními valy z vysbíraného skeletu pocházejícího ze zájmového území. Na těchto lokalitách byla vytvořena síť sond pomocí sondážní tyče. Hned na místě byla u těchto sond určena přibližná hloubka půdních horizontů, u vybraných sond také pomocí Munsellových tabulek barva půdních horizontů a roztokem HCl zjišťována přítomnost karbonátů v jednotlivých horizontech. Síť je spíše nepravidelného tvaru, se snahou vést ji jak po hranici zájmové lokality, z důvodu přesnější následné interpolace a také je vedena sníženinami v lokalitách, kde byla předpokládána akumulace erodovaného materiálu. Právě v dolní části těchto sníženin, kde byla předpokládána největší mocnost koluvizemí, byly vykopány sondy, ze kterých byly odebrány vzorky půdy pro následnou analýzu množství oxidovatelného uhlíku a také pomocí Kopeckého válečků odebrány vzorky pro stanovení okamžité hmotnostní vlhkosti zeminy a také redukované objemové hmotnosti půdy. Správnost určení závěrového profilu byla poté ověřena v extenzi Arc hydro, konkrétně pomocí funkce flow accumulation. Sondy pro odběr vzorků byly vykopány v případě lokalit 1 a 2 do hloubky cca 2,5 metru, u lokality 1 byl současně prováděn vedlejší vrt ČZU Praha, který stanovil hloubku horizontu Azx na 3,8 metru a celkovou hloubku A horizontu na 4,2 metru. U lokality 2 tento vrt proveden nebyl a hloubka humózního horizontu byla stanovena sondami na 3,5 metru. U lokality číslo 3 Oblík se vzhledem k menší mocnosti A horizontu žádné vrty nebyly nutné.



Obrázek 20: Sonda pro odběr vzorků v lokalitě Oblík:
Zdroj: vlastní fotografie autora



Obrázek 21: Ukázka sítě provedených sond z lokality 3 Oblík
Zdroj: ČÚZK DMR 5 G, vlastní data autora

4.2 Zpracování získaných dat

Redukovaná objemová hmotnost půdy byla stanovována v rozdílných hloubkách, dle konkrétních místních podmínek v lokalitě. Válečky byly zváženy hned po odběru, poté vysušeny v laboratoři a dle vzorce $OHR = (G_s - G_t) / 100$ (např. Suchara 2007), kde G_s je hmotnost sušiny vzorku v Kopeckého válečku [g], G_t je hmotnost prázdného Kopeckého válečku [g], vypočtena redukovaná objemová hmotnost [g/cm^3].

Okamžitá hmotnostní vlhkost zeminy [ml/g^{-1}] byla vypočtena dle vzorce $OHV = (G_m - G_s) / (G_s - G_t)$ (např. Suchara 2007), kde G_m je hmotnost čerstvého

vzorku zeminy v Kopeckého válečku [g], G_s je hmotnost sušiny vzorku v Kopeckého válečku [g] a G_t je hmotnost prázdného Kopeckého válečku [g].

Pro stanovení množství oxidovatelného organicky vázaného uhlíku C_{ox} [%] byly ve stejných hloubkách jako u vzorků pro stanovení redukované objemové hmotnosti a okamžité hmotnostní vlhkosti zeminy odebrány vzorky půdy, jež byly následně vysušeny a rozdrceny na jemnozem. Při drcení suché půdy byl kladen důraz na odstranění organických zbytků (např. kořeny), jež by mohly výsledek zkreslit. Samotnou analýzu množství oxidovatelného uhlíku provedl VÚMOP Zbraslav. Profily sond byly vytvořeny ve volně dostupném grafickém editoru Zoner Callisto 5.

4. 3 Práce v prostředí GIS

Základní podkladová data pro analýzu terénu poskytl ČÚZK. Jedná se o vybrané mapové listy DMR 5G pro Čechy a DMR 4G pro moravskou lokalitu Brumovice. Bohužel DMR 5G není ještě hotov pro celou republiku, proto musel být v jednom případě použit starší DMR 4G. DMR 5G představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskrétních bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti (TIN) bodů o souřadnicích X, Y, H, kde H reprezentuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání s úplnou střední chybou výšky 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu. Model vznikl z dat pořízených metodou leteckého laserového skenování výškopisu území České republiky v letech 2009 až 2013. DMR 5G je určen k analýzám terénních poměrů lokálního charakteru a rozsahu, např. při projektování pozemkových úprav, plánování a projektování dopravních, vodohospodářských a pozemních staveb, modelování přírodních jevů lokálního charakteru, apod. DMR 5G je základní zdrojovou databází pro tvorbu vrstevnic určených pro mapy velkých měřítek a počítačové vizualizace výškopisu v územně orientovaných informačních systémech vysoké úrovně podrobnosti. Hlavní rozdíl oproti předchozí verzi spočívá ve snížení chyby střední chyby nadmořské výšky z 0,3 m v nezalesněném terénu u DMR 4G na 0,18 m u DMR 5G) a z 1 m na 0,3 m v zalesněných oblastech. DMR 4G je zobrazen ve formě pravidelné mřížky o velikosti 5 x 5 metru

ČÚZK dodal data v textovém formátu XYZ. Pro jejich další zpracování byla použita funkce ASCII 3D to feature class. Vstupní data byla převedena do vektorové vrstvy

a následně funkcí *calculate geometry* dopočítány jejich souřadnice. Následně byla data oříznuta funkcí *clip* na požadovaný rozsah modelových lokalit.

Na těchto pozemcích byla síť bodů se souřadnicemi převedena z *feature class* na *shapefile*. Jako interpolační metoda na tento *shapefile* byla vybrána funkce *topo to raster*. Jedná se interpolační metodu specificky navrženou pro interpolaci hydrologicky korektního DMR, která kombinuje přesnost lokálních interpolačních metod a prostorovou kontinuitu interpolačních metod globálních (Štych et al. 2008).

Pro vymodelování původního stavu reliéfu je vycházeno z předpokladu, že nejmladší vrstvy spraše jsou během holocénu půdotvorným substrátem pro nově vznikající půdu (např. Frechen et al. 2003). V místech sond, kde známe hloubku A horizontu a dostáváme se v profilu až na původní spraš, byla tedy od nadmořské výšky sondy v atributové tabulce odečtena hodnota celkové hloubky horizontů nad původní spraší. V některých erozí nejpostiženějších místech se spraš dnes dostává až na povrch, naopak byla hodnota přičtena, protože velmi pravděpodobně došlo ke smyvu těchto spraší a současný A horizont se zde tvoří druhotně pouze díky kultivaci půdy. Síť bodů DMR byla zredukována pouze na místa sond, kde známe přesnou hodnotu hloubky humózního horizontu půdy, vznikla tak nepravidelná síť výškových bodů, na kterou byla použita opět interpolační metoda *topo to raster*. Sondy byly vedeny sníženinou na pozemcích, kde je vyšší akumulace půdy a také po jejich hranicích pro lepší výsledek jejich interpolace.

Pro větší přehlednost jsou obrázky popisující současný a původní reliéf v práci vedle sebe, k tomu byl použit nástroj *new data frame*.

5. Výsledky

5. 1 Lokalita Brumovice

5. 1. 1 Půdní kryt lokality

V lokalitě číslo 1 Brumovice na Jižní Moravě byla zjištěna výrazná změna půdního krytu v důsledku působení erozně – akumulačního procesu. Původně převládající typ černozemí modálních s humusovým horizontem mocným mezi 50 a 60 cm, dnes najdeme jen na plochých místech v horní části zájmové lokality. Se zvyšováním sklonu pozemku dochází k erodování těchto černozemí a v jejich retrogradní přeměnu na regozem karbonátovou. V regozemi karbonátové je humusem obohacený pouze orníční horizont Ap, který je pravidelně kultivován. Ap horizont se vlivem kultivace tvoří druhotně.

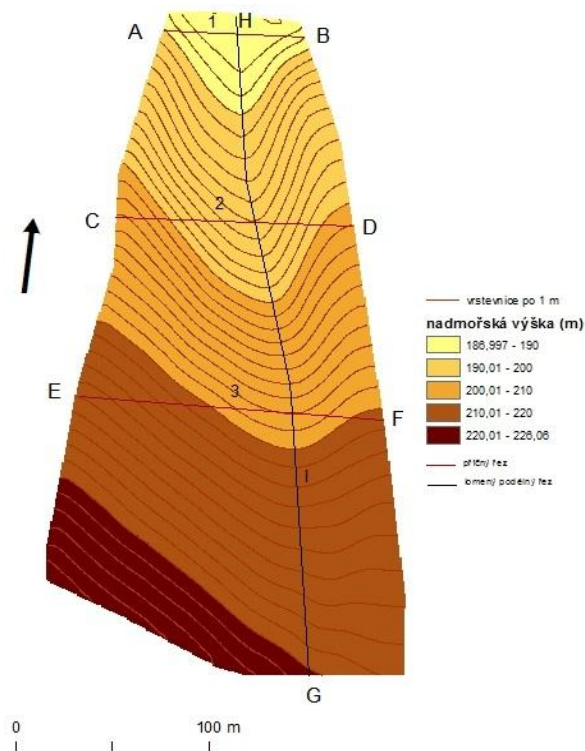
Ve sníženině v dolní části pozemku najdeme koluviální horizont mocný v některých místech i okolo 3,8 metrů. Nejvyšší mocnost koluvizemě je v dolní části sníženiny. Tyto hodnoty jsou vysoké i proto, že zde tvoří místní erozní bázi mez pod pozemkem, která odděluje lokalitu od císařské silnice pod ní. Při výrazných erozních událostech je i tato mez překonána (obrázek 22) a erodovaný materiál z pozemku se dostává přes komunikaci do nivy vodního toku.



Obrázek 22: Důkaz výrazné eroze v lokalitě, zachycené kamerou na autě při mapování v květnu 2013

Zdroj: mapy.cz

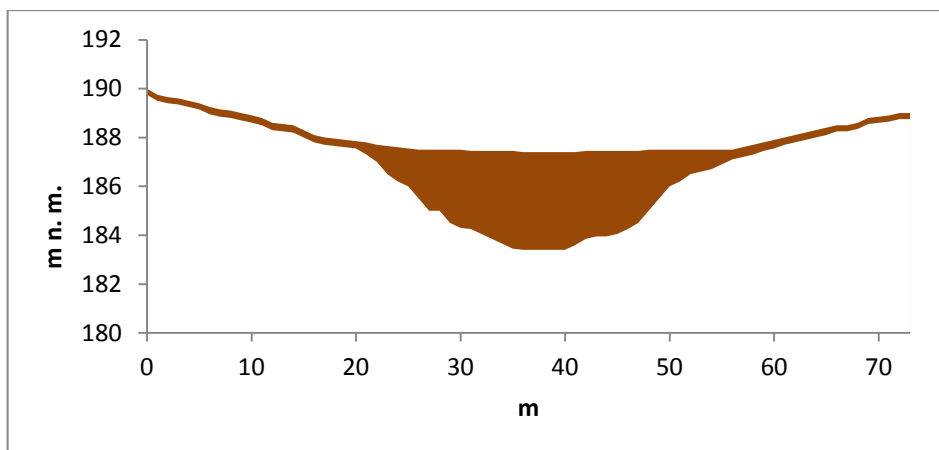
Vzhledem k obanžení svahu téměř až na půdotvorný substrát, který v lokalitě tvoří spraš, dochází v koluviu k ukládání nejen organických, ale i minerálních látek. Hloubka A horizontu půdy na zájmové části pozemku kolísá od pouze 20 cm v nejprudších částech svahu, kde se sklon pohybuje okolo 15° a převažuje zde erozní proces po několik metrů na konci výrazné sníženiny na pozemku, kde je mocnost dokonce vyšší než v nejnižším místě celé zájmové lokality.



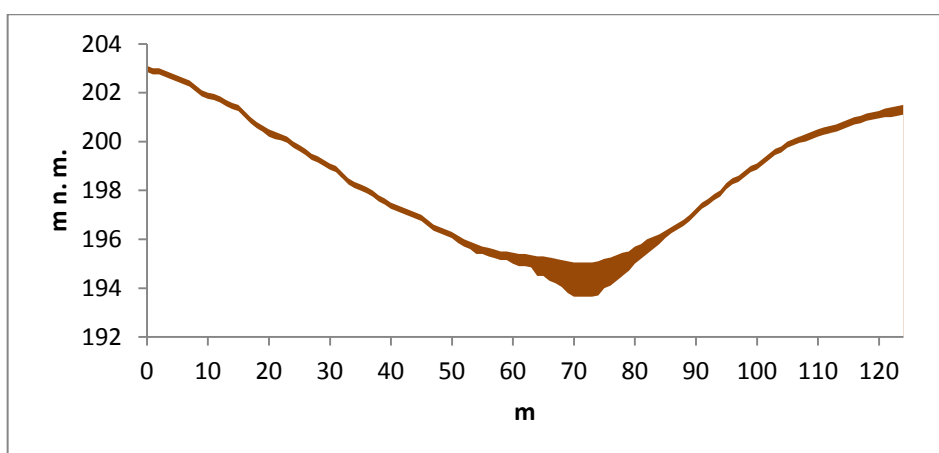
Obrázek 23: Příčné řezy (1 – 3) a lomený podélný řez (I) hloubky A horizontu půdy v lokalitě Brumovice

Zdroj: ČÚZK - DMR 4G, vlastní data autora

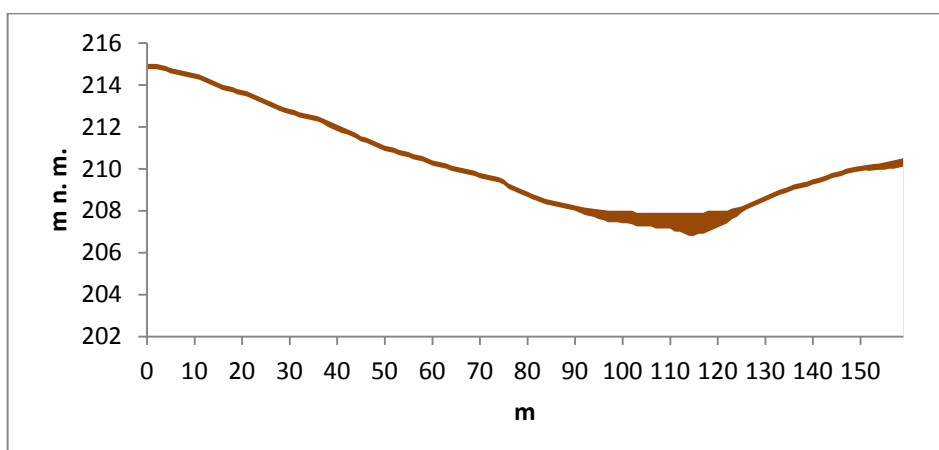
Všechny řezy ukazují výraznou akumulaci půdního materiálu ve sníženině na pozemku. Nejvyšší mocnost této akumulace je v dolní části sníženiny, kam je přinášén erodovaný materiál z výše položených částí zájmového území. U příčných řezů je vidět určitá anomálie mezi západní a východní stranou sníženiny, kdy na východní straně je nárůst hloubky A horizontu pozvolnější, tento fakt je pravděpodobně zapříčiněn způsobem orby na pozemku. Lomený podélný řez ukazuje, že mocnost A horizontu na zájmové části pozemku neroste rovnoměrně, ale výrazně reaguje na snížení sklonu.



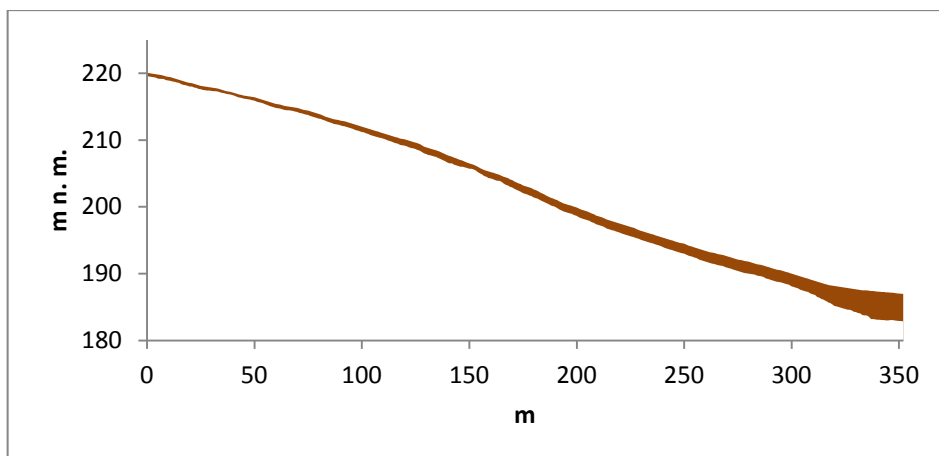
Obrázek 24: Příčný řez 1 (směr z A do B) lokalitou Brumovice
Zdroj: ČÚZK - DMR 4G, vlastní data autora



Obrázek 25: Příčný řez 2 (směr z C do D) lokalitou Brumovice
Zdroj: ČÚZK – DMR 4G, vlastní data autora

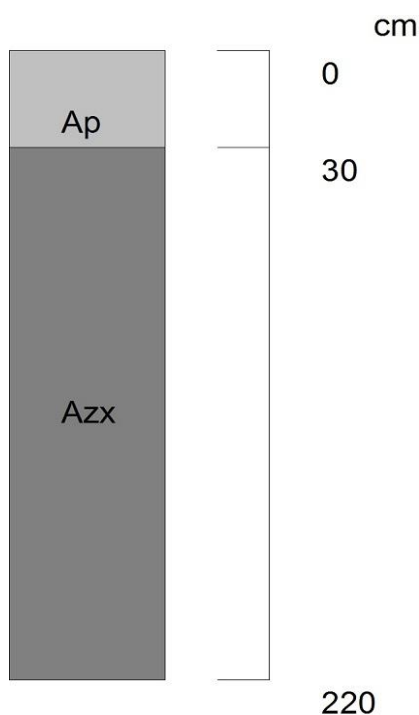


Obrázek 26: Příčný řez 3 (směr z E do F) lokalitou Brumovice
Zdroj: ČÚZK – DMR 4G, vlastní data autora



Obrázek 27: Lomený podélný řez I (směr z G do H) lokalitou Brumovice
Zdroj: ČÚZK – DMR 4G, vlastní data autora

Charakteristiky půdy na základě odebraných vzorků a pozorování v místě provedené sondy jsou v tabulce 5. Stáří této koluvizemě nebylo datováno. Koluvizem se v této lokalitě vyznačuje kromě charakteristik z tabulky 5 také minimem skeletu. Profil sondy znázorňuje obrázek 28.



Obrázek 28: Profil sondy pro odběr vzorků půdy v lokalitě Brumovice
Zdroj: vlastní data autora

Tabulka 5: Vlastnosti půdy v lokalitě Brumovice (zjišťováno v průzkumné sondě pro odběr vzorků půdy)

Hloubka (cm)	Půdní horizont	Karbonáty	Barva	Okamžitá hmotnostní vlhkost zeminy (ml.g^{-1})	Objemová hmotnost půdy (g.cm^{-3})	Obsah C_{ox} (%)
30	Ap - Azx	4	10 YR 4/3	0,286	1,65	0,94
50	Azx	3	10 YR 3/2	0,274	1,54	0,91
100	Azx	3	10 YR 3/2	0,263	1,48	0,82
150	Azx	3	10 YR 3/2	0,274	1,55	0,8
200	Azx	3	10 YR 2/2	0,287	1,63	0,67

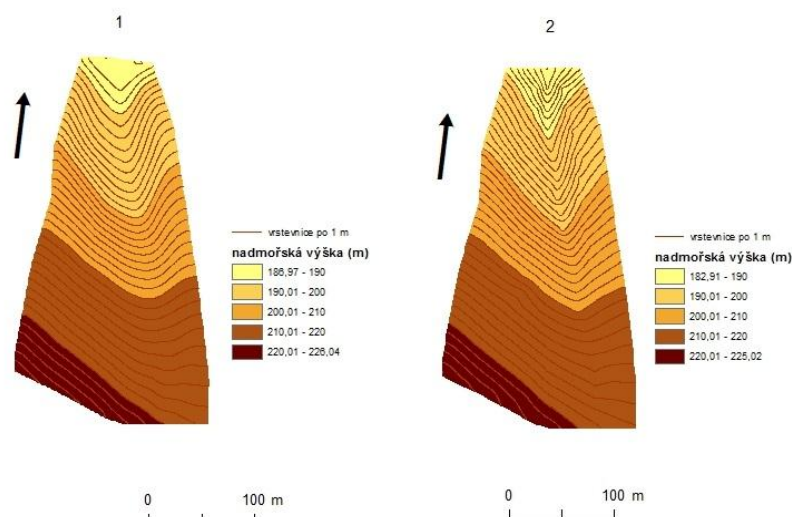
Zdroj: vlastní data autora, analýza v laboratoři VÚMOP

Z uvedených charakteristiků vyčíst, že pod orničním horizontem Ap následuje mocný koluviální horizont Azx (obrázek 28). Karbonáty jsou přítomny v celém profilu a jejich koncentrace odpovídá hodnotám 3 – 4 na stupnici od 1 do 5. Tato stupnice je pohledem, jak intenzivně reaguje půda na aplikaci 8 % roztoku kyseliny chlorovodíkové přímo v terénu. Čím více postupujeme do hloubky, tím je půda tmavší. Objemová vlhkost má typický průběh, nejprve klesá s hloubkou k minimu v 1 metru, aby její hodnota následně zase vzrostla vlivem podzemní vody. Objemová hmotnost půdy má nejvyšší hodnotu, pod orničním horizontem Ap díky zhutnění půdy těžkou zemědělskou technikou.

5. 1. 2 Vývoj reliéfu v lokalitě

Půdotvorným substrátem v lokalitě jsou spraše, které tvoří horizont Ck. Spraše jsou pozůstatkem dob ledových, kdy v důsledku ochlazení klimatu došlo k úbytku vegetace a tím pádem byla větší dostupnost eolického materiálu, jehož akumulací spraše vznikly.

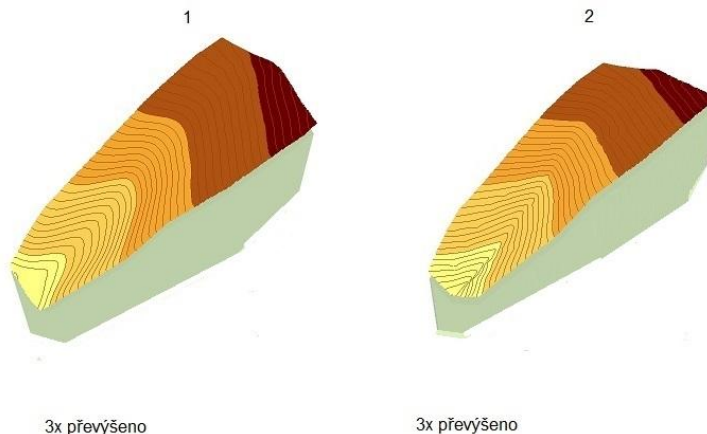
Obrázek 29 ukazuje změnu topografie lokality mezi dneškem (1) a počátkem erozně akumulačního procesu (2). Výraznou změnu lze rozeznat v dolní části sníženiny, kde došlo v důsledku akumulace erodovaného materiálu, ke zvýšení nadmořské výšky povrchu o téměř 4 metry.



Obrázek 29: Topografické mapy lokality dnes (1) a před počátkem erozně akumulčního procesu (2)

Zdroj: ČÚZK – DMR 4G, vlastní data autora

Následující 3D obrázky lokality ukazují opět postupné zarovnávání sníženiny na pozemku v důsledku zvýšené dynamiky erozně akumulční činnosti (interval vrstevnic i barevná škála nadmořských výšek je stejná jako u předchozího obrázku 29).

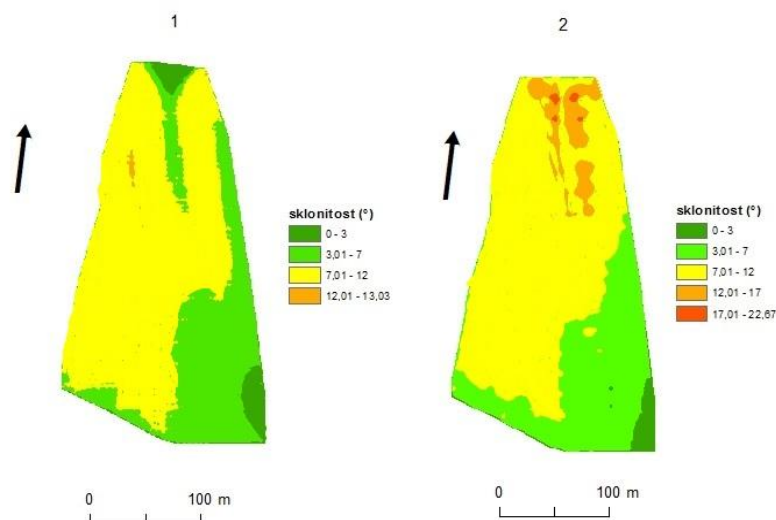


Obrázek 30: 3D modely reliéfu lokality Brumovice, vlevo pod číslem 1 dnešní stav, vpravo pod číslem 2 stav původní

Zdroj: ČÚZK – DMR 4G, vlastní data autora

Podobně působí i obrázek 31, vyjadřující změnu sklonu na pozemku ve stejné době. Dnešní sklon je opět vlevo pod číslem 1, akumulční oblast na konci sníženiny, kde se dnes sklon pohybuje v kategorii 0 – 3°, byla dříve naopak místem s jedním

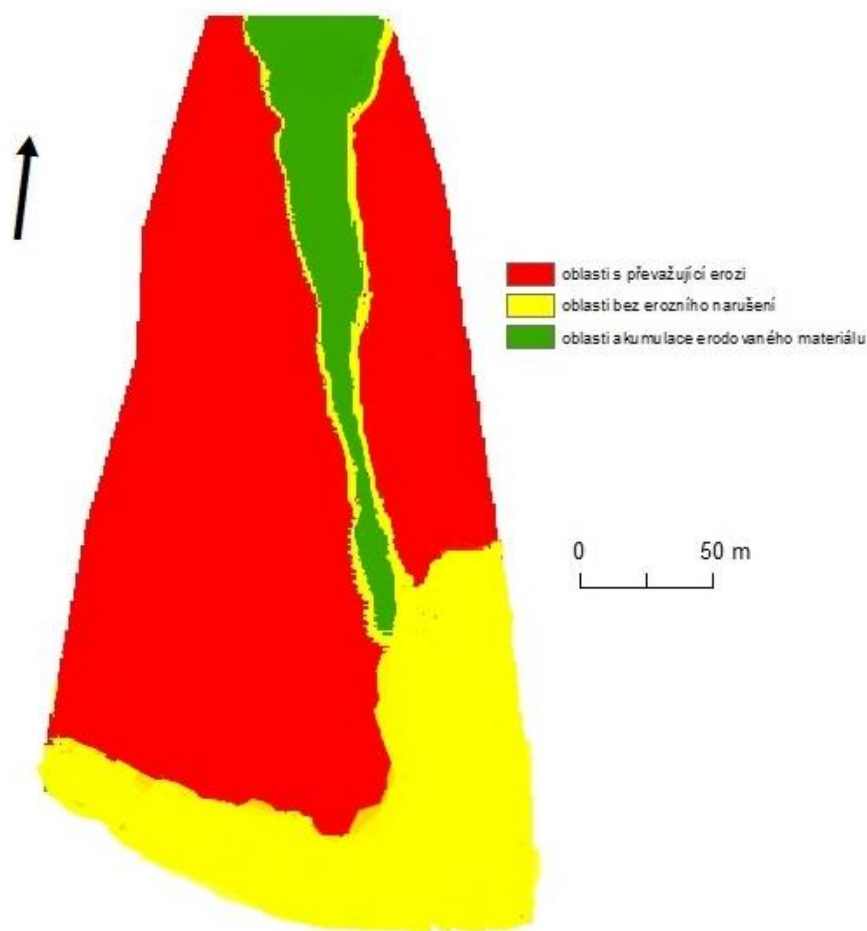
z nejvyšších sklonů, od počátku zrychlené erozně akumulární činnosti, tedy jednoznačně došlo k zanesení této strže erodovaným materiálem. Vrcholové partie zájmové části pozemku působí stabilně, neprobíhá v nich intenzivní eroze půdy, naopak zde dominuje přirozený půdotvorný proces.



Obrázek 31: Porovnání sklonitosti v lokalitě dnes (1) a před počátkem erozně akumulárního procesu (2)

Zdroj: ČÚZK – DMR 4G, vlastní data autora

Další obrázek 32 znázorňuje změny reliéfu v lokalitě od počátku erozně akumulární činnosti. Na zájmovém území se nachází nejen oblasti zrychlené akumulace půdy, ale i oblasti erozní, kde došlo ke snížení nadmořské výšky vlivem zrychlené půdní eroze. Tato oblast se nachází především na západ od sníženiny, kde je nej hustší síť vrstevnic a dnes také nejvyšší sklonitost. Eroze je v těchto místech tak významná, že A horizont má hloubku jen okolo 20 cm. I když se jedná o jednu z nejúrodnějších oblastí ČR, možná by se mělo uvažovat o zatravnění této plochy, jelikož zde dochází k nenávratné degradaci půdního krytu. V horních partiích lokality dominuje přirozený půdotvorný proces, kdy půdní kryt tvoří černozem modální s hloubkou A horizontu mezi 50 a 60 cm. Jak již jsem několikrát uvedl, koluvizemě se vyskytují téměř po celé délce centrální sníženiny, s nejvyšší mocností v její dolní části.



Obrázek 32: Oblasti vývoje reliéfu v lokalitě Brumovice, posuzováno podle hloubky humózního horizontu

Zdroj: ČÚZK – DMR 4G, vlastní data autora

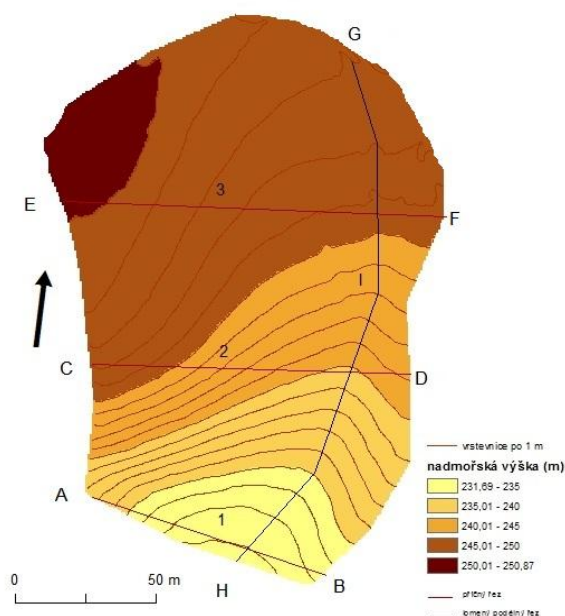
5.2 Lokalita Vysoká

5. 2. 1 Půdní kryt lokality

I v zájmové oblasti 2 Vysoká u Mělníka se na současné diferenciované struktuře půdního krytu významně podílí erozně – akumulační procesy. Původní hnědozemě s půdotvorným substrátem spraší totiž patří k erozně nejnáchylnějším půdním typům v České republice (Janeček et al. 2002). Dnes tento půdní typ najdeme především v oblastech s nižším sklonem na rozvodí v horní části lokality. Tyto hnědozemě se postupně se zvyšujícím sklonem reliéfu podléhají erozi a retrográdně se přeměňují na regozem karbonátovou. Ta má pouze 2 horizonty – svrchní orniční Ap o mocnosti 20 - 25 cm, pod kterým již následuje sprašový mateční Ck horizont. V místech akumulace erodovaného materiálu se tvoří koluvizemě, ve kterých mocnost A horizontu dosahuje až 3 m. Intenzitu procesu koluviace na tomto území zvyšuje nejen náchylnost půdního

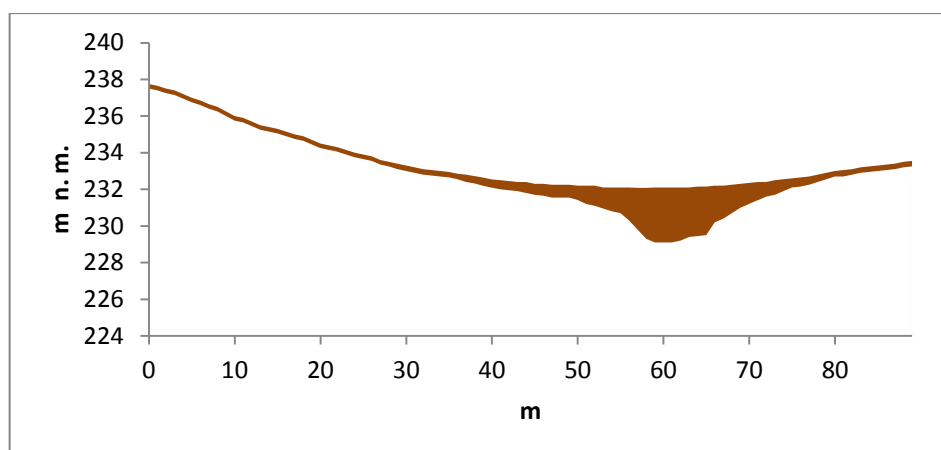
krytu k erozi, ale také skutečnost že se jedná o suché bezodtoké údolí, což je fenomén typický pro oblast Kokořínska, takže zde nedochází k odnosu materiálu vodním tokem.

Hloubka A horizontu půdy na vybrané lokalitě kolísá od 20 cm v nejprudších místech svahu, kde půdní kryt tvoří regozem karbonátová do cca 3,5 m v závěrovém profilu sníženiny, kde se ukládá erodovaný materiál z výše položených částí lokality. Sníženina rozděluje zájmové území na 2 asymetrické části, hlavním zdrojem akumulovaného materiálu je oblast na západ od sníženiny. Mocnost akumulace půdy v podélném řezu narůstá na rozdíl od předchozí lokality Brumovice vcelku rovnoměrně, protože sklon ve sníženině je poměrně konstantní. Pomaleji klesající mocnost akumulace na východní straně sníženiny lze opět vysvětlit jako důsledek orby na pozemku.

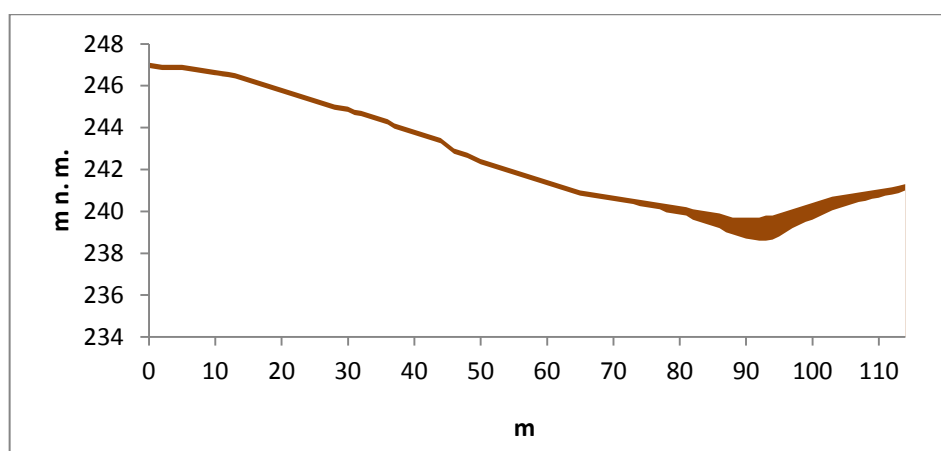


Obrázek 33: Příčné řezy (1 – 3) a lomený podélný řez (I) hloubky A horizontu půdy v lokalitě Vysoká

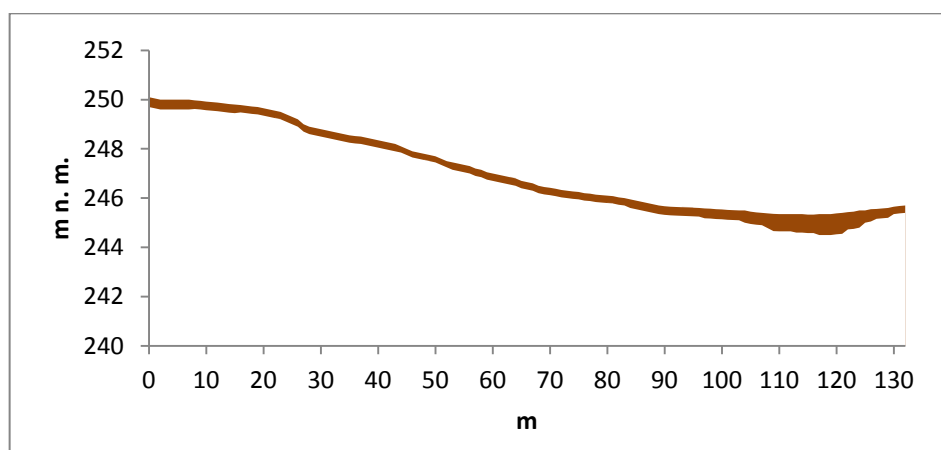
Zdroj: ČÚZK - DMR 5G, vlastní data autora



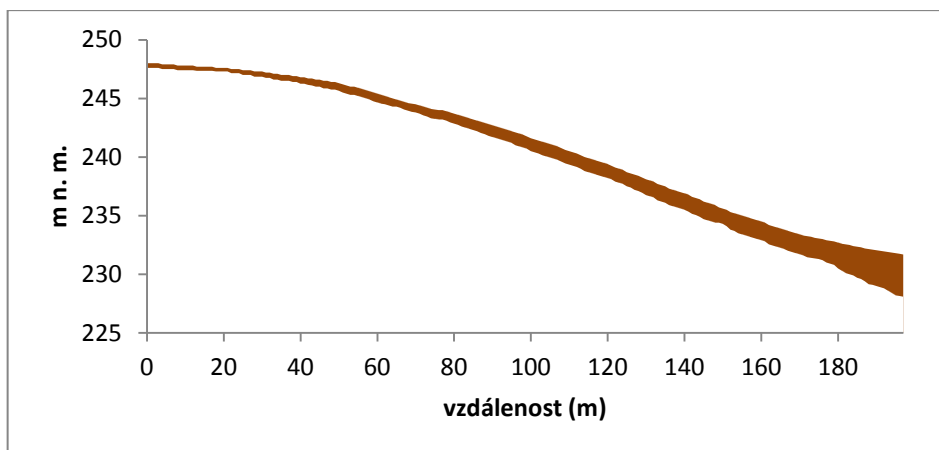
Obrázek 34: Příčný řez 1 (směr z A do B) lokalitou Vysoká
Zdroj: ČÚZK – DMR 5G, vlastní data autora



Obrázek 35: Příčný řez 2 (směr z C do D) lokalitou Vysoká
Zdroj: ČÚZK – DMR 5G, vlastní data autora



Obrázek 36: Příčný řez 3 (směr z E do F) lokalitou Vysoká
Zdroj: ČÚZK – DMR 5G, vlastní data autora



Obrázek 37: Lomený podélný řez (směr z G do H) I lokalitou Vysoká
Zdroj: ČÚZK – DMR 5G, vlastní data autora

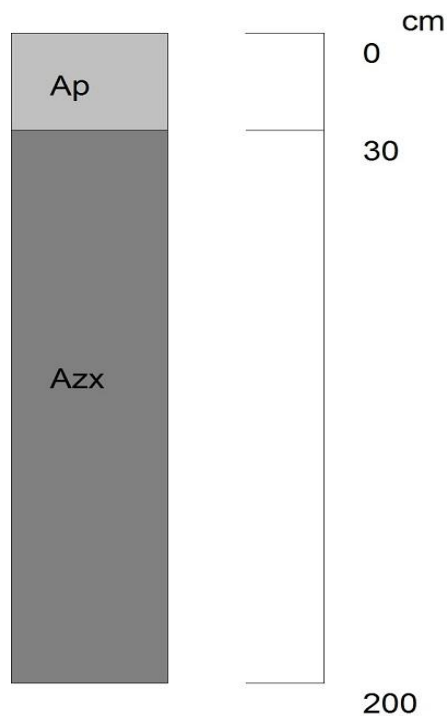
Charakteristiky půdy na základě pozorování v místě sondy, i následně provedených analýz jsou v tabulce 6. Stáří koluvizemě nebylo datováno. Koluvizem je bez skeletu. Profil sondy znázorňuje obrázek 38.

Tabulka 6: Vlastnosti půdy v lokalitě Vysoká (zjišťováno v průzkumné sondě pro odběr vzorků půdy)

Hloubka (cm)	Půdní horizont	Karbonáty	Barva	Okamžitá hmotnostní vlhkost zeminy (ml.g^{-1})	Objemová hmotnost půdy (g.cm^{-3})	Obsah C_{ox} (%)
30	Ap	4	10 YR 3/4	0,164	1,68	0,62
50	Azx	4	10 YR 4/6	0,161	1,64	0,56
100	Azx	4	10 YR 4/6	0,165	1,39	0,37
150	Azx	4	10 YR 4/6	0,169	1,55	0,35
200	Azx	4	10 YR 4/6	0,169	1,67	0,34

Zdroj: vlastní data autora, analýza v laboratoři VÚMOP

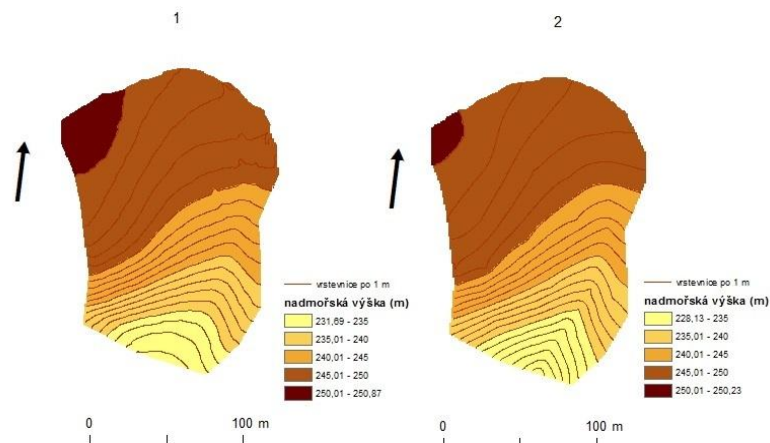
I v této koluvizemi následuje pod orníčním horizontem Ap mohutný koluviální horizont Azx. Karbonáty jsou přítomny v celém profilu, což je také důkaz změny půdního krytu lokality v důsledku erozně akumulární činnosti a následné akumulace nejen organického ale i minerálního materiálu. Intenzita přítomnosti karbonátů, která byla opět hodnocena na základě reakce materiálu s roztokem HCl, je 4. Ap horizont je o něco tmavší než Azx. Objemová hmotnost dosahuje nejvyšších hodnot těsně pod Ap horizontem v důsledku degradace půdy těžkou technikou při kultivaci. Obsah oxidovatelného uhlíku je nižší než u předchozí sondy v lokalitě Brumovice.



Obrázek 38: Profil sondy pro odběr vzorků půdy v lokalitě Vysoká
Zdroj: vlastní data autora

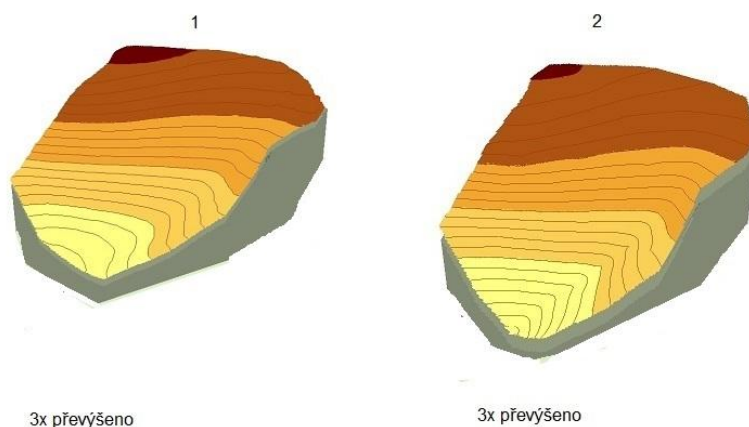
5. 2. 2 Vývoj reliéfu v lokalitě

Následující obrázek 39 ukazují stejně jako u lokality 1 změnu výškových poměrů zájmového území mezi dneškem (1) a počátkem erozně akumulárního procesu (2). Největší změny jsou patrné opět v dolní části sníženiny, kde má humózní horizont mocnost 3 m. Naproti tomu na vrcholové plošší části zájmové lokality, nejsou změny reliéfu příliš výrazné, díky tomu, že se zde neprojevuje intenzivní erozně akumulární činnost.



Obrázek 39: Topografické mapy lokality dnes (1) a před počátkem erozně akumulčního procesu (2)

Zdroj: ČÚZK – DMR 5G, vlastní data autora



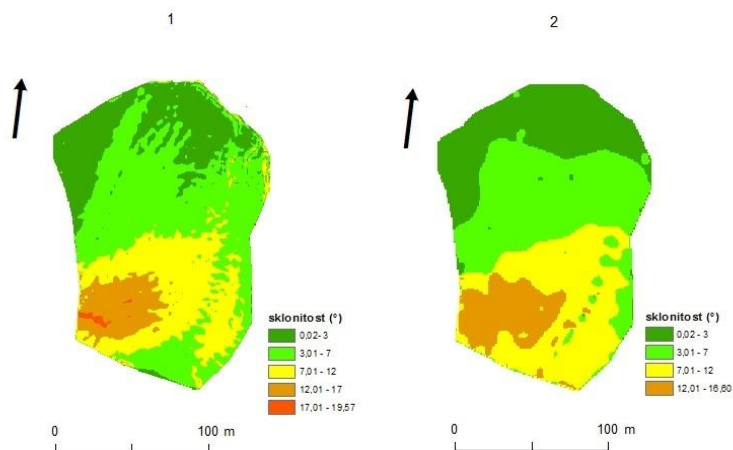
Obrázek 40: 3D modely reliéfu lokality Vysoká, vlevo pod číslem 1 dnešní stav, vpravo pod číslem 2 stav původní

Zdroj: ČÚZK – DMR 5G, vlastní data

I z 3D obrázků lokality lze vidět akumulaci materiálu v nejnižší části zájmového území. Postupně zde dochází k vyrovnávání reliéfu. (Interval vrstevnic i barevná škála nadmořských výšek jsou stejné jako u předchozího obrázku 39).

Následující obrázek 41 ukazuje změnu sklonu mezi stavem dnes a stavem na počátku erozně akumulčního procesu. Došlo ke snížení sklonu v akumulční oblasti na konci sníženiny, naopak v oblasti s převažující erozí na západ od sníženiny se vlivem zrychlené intenzity eroze sklon v některých místech dokonce mírně zvýšil. Došlo zde

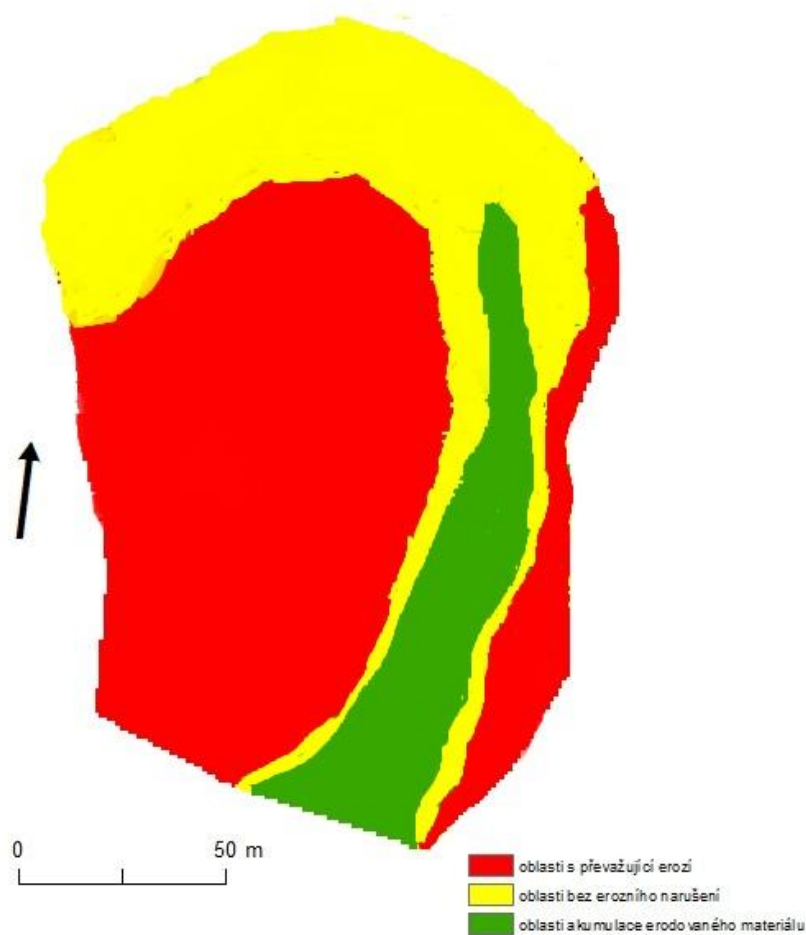
k odhalení původní spraše, nad kterou dnes leží jen druhotně vzniklý orniční Ap horizont. Horní část lokality dnes nepůsobí tak zarovnaně, což může být také způsobeno velmi přesným digitálním modelem DMR 5G, který tvoří nepravidelnou a velmi hustou síť bodů a zachycuje velmi přesně povrch.



Obrázek 41: Porovnání sklonitosti v lokalitě dnes (1) a před počátkem erozně akumulčního procesu (2)

Zdroj: ČÚZK – DMR 5G, vlastní data autora

Obrázek 42 ukazuje, že i této lokalitě se v horní partii při rozvodí nachází oblasti stabilní, bez velkého vlivu erozně akumulčního procesu. V těchto oblastech dominuje přirozený půdotvorný proces. Eroze převažuje po obou stranách sníženiny, v oblastech s vyššími sklony. Především oblast na západ od sníženiny je erozí velice degradována a je hlavním zdrojem materiálu pro akumulaci v centrální a dolní části sníženiny v lokalitě. I tato lokalita je velice zasažena diferenciací půdního krytu a vyrovnáváním reliéfu v důsledku zvýšené dynamiky erozně akumulčního procesu.



Obrázek 42: Oblasti vývoje reliéfu v lokalitě Vysoká, posuzováno podle hloubky humózního horizontu

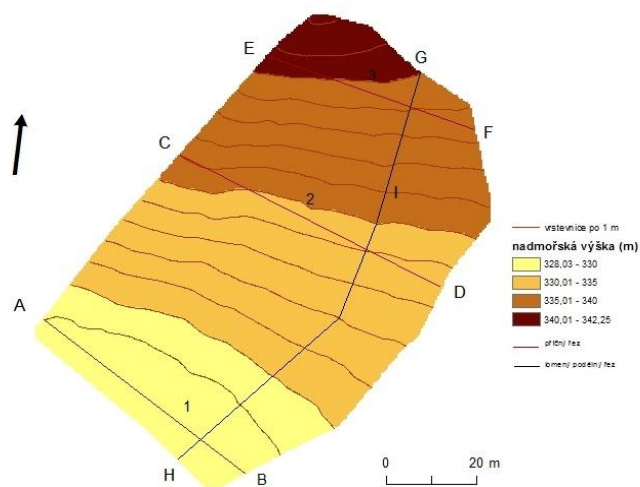
Zdroj: ČÚZK – DMR 5G, vlastní data autora

5.3 Lokalita Oblík

5.3.1 Půdní kryt lokality

Lokalita číslo 3 Oblík u Loun je také ovlivněna změnou reliéfu v důsledku erozně akumulární činnosti. Maximální mocnost A horizontu zde však dosahuje jen okolo 85 cm, což je oproti 2 předchozím lokalitám znatelně méně. Důvodem tohoto stavu je jednak krajinný pokryv, který tvoří orná půda, ale trvalý travní porost (TTP) a také malá rozloha pozemků v této oblasti, které jsou navíc odděleny agrárními valy, které zkracují délku svahů a zabraňují větší intenzitě eroze. Přesto i zde je část půdního krytu lokality tvořena z koluvizemí. Původním půdním krytem jsou zde černozemě (Tomsu 2014). Na rozdíl od předchozích 2 lokalit zde na vybraném území chybí výrazná sníženina i plochá horní část pozemku. Hloubka A horizontu se pohybuje od 25 cm v horní části lokality po 85 cm v nejnižší části. Lokalita Oblík dokazuje, že erozně

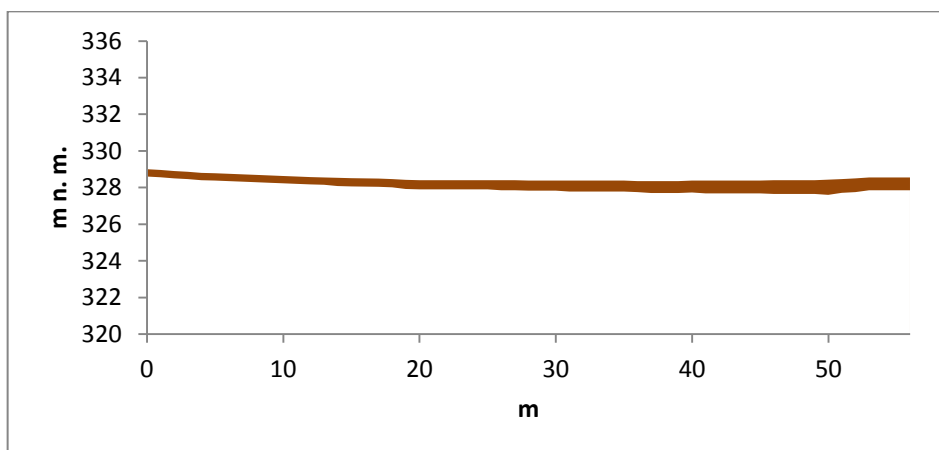
akumulační proces se podílel na tvorbě reliéfu i v místech, kde nejsou velké délky pozemků a jsou zde po staletí vytvářeny agrární valy mezi pozemky, přestože zde pochopitelně není vliv tohoto procesu tak výrazný.



Obrázek 43: Příčné řezy (1 – 3) a lomený podélný řez (I) hloubky A horizontu půdy v lokalitě Oblík

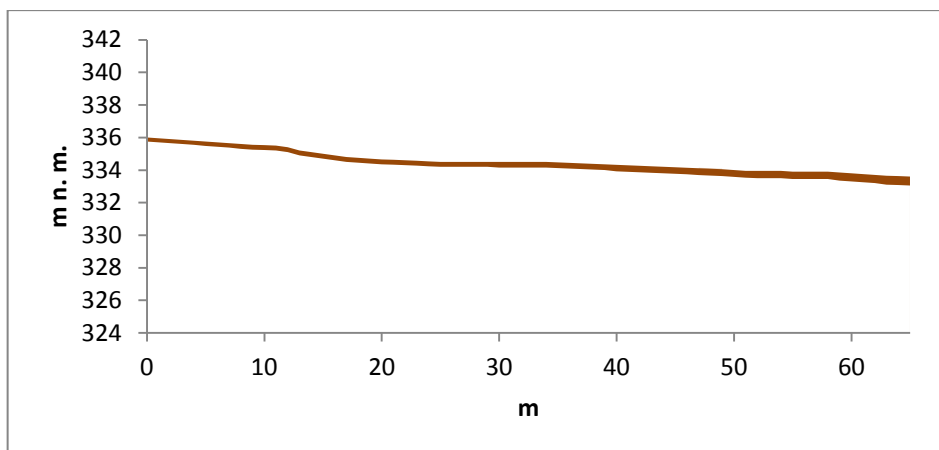
Zdroj: ČÚZK - DMR 5G, vlastní data autora

Nejvyšší akumulace půdy je na jižním okraji zájmového území, kde přesahuje hloubka A horizontu 80 cm. Nárůst mocností A horizontu je poměrně rovnoměrný až na malý výkyv způsobený změnou sklonu v podélném řezu.

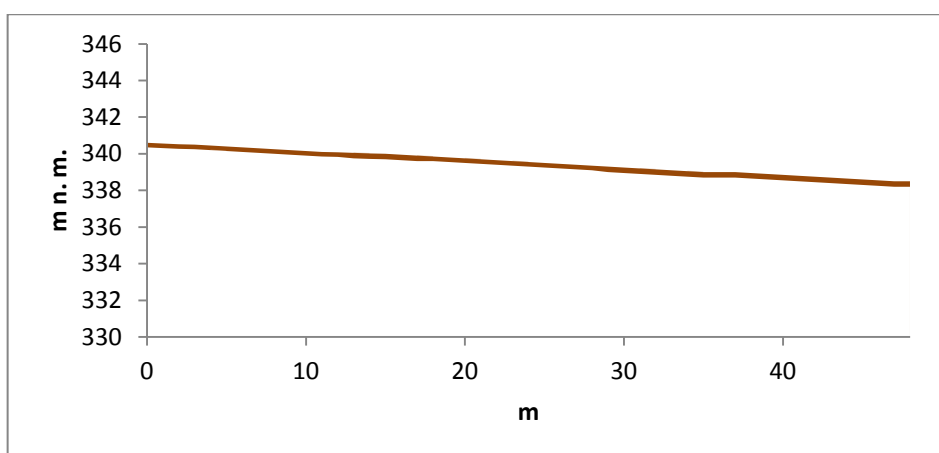


Obrázek 44: Příčný řez 1 (směr z A do B) lokalitou Oblík

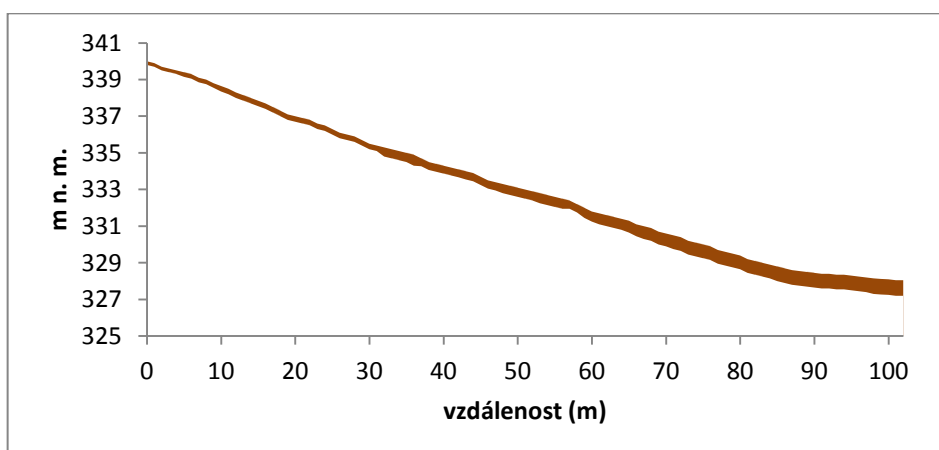
Zdroj: ČÚZK – DMR 5G, vlastní data autora



Obrázek 45: Příčný řez 2 (směr z C do D) lokalitou Oblík
Zdroj: ČÚZK – DMR 5G, vlastní data autora



Obrázek 46: Příčný řez 3 (směr z E do F) lokalitou Oblík
Zdroj: ČÚZK – DMR 5G, vlastní data autora



Obrázek 47: Lomený podélný řez (směr z G do H) I lokalitou Oblík
Zdroj: ČÚZK – DMR 5G, vlastní data autora

Charakteristiky půdy z průzkumné sondě analyzované jak přímo na místě tak i později v laboratoři jsou v tabulce 8. Koluvizem v lokalitě Oblík obsahuje mnohem více skeletu

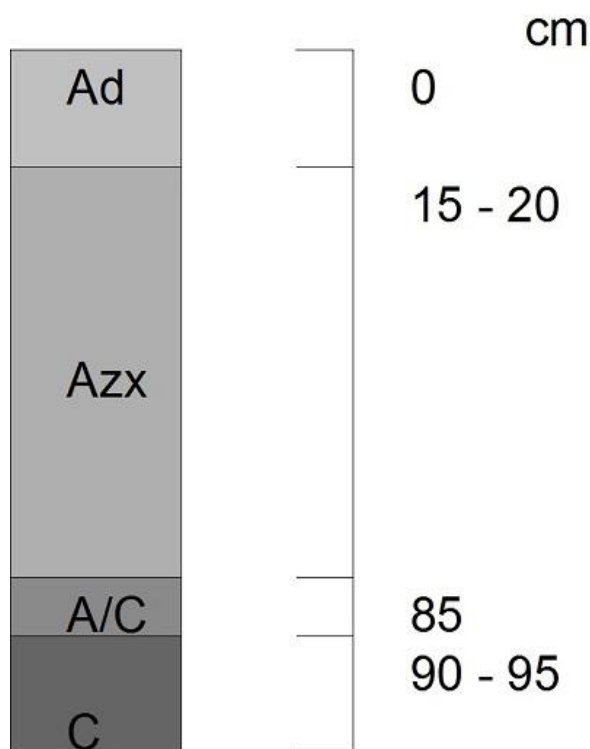
než koluvizemě v předchozích 2 lokalitách. Její stáří opět nebylo datováno. Profil sondy je zobrazen na obrázku 48.

Tabulka 7: Vlastnosti půdy v lokalitě Oblík (zjišťováno v průzkumné sondě pro odběr vzorků půdy)

Hloubka (cm)	Půdní horizont	Karbonáty	Barva	Okamžitá hmotnostní vlhkost zeminy (ml.g^{-1})	Objemová hmotnost půdy (g.cm^{-3})	Obsah C_{ox} (%)
20	Ad	3	10 YR 3/2	0,346	1,29	3,22
50	Azx	3	10 YR 3/2	0,281	1,24	1,96
70	Azx	3	10 YR 3/2	0,275	1,21	1,67

Zdroj: vlastní data autora, analýza v laboratoři VÚMOP

Pod drnovým horizontem Ad, který se vyskytuje pod TTP následuje koluviální Azx mocný 65 – 70 cm. Přechod mezi horizonty Ad a Azx i Azx a A/C nejde určit zcela přesně. Byla zjištěna přítomnost karbonátů v celém profilu. Objemová hmotnost dosahuje nižších hodnot než u předchozích lokalit, jelikož pozemek není pravidelně kultivován těžkou zemědělskou technikou. Zajímavostí je vysoký obsah oxidovatelného uhlíku v půdě, hodnotu však může zkreslovat výrazné prokořenění Ad horizontu, je možné, že přes drcení na jemnozem se nemuselo podařit odstranit veškeré organické zbytky ve vzorku.

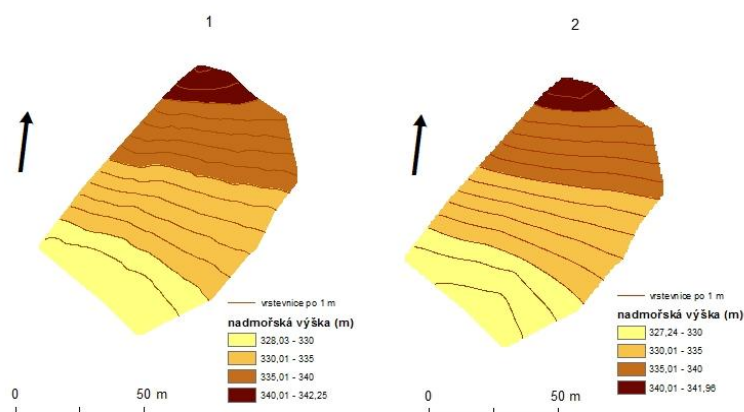


Obrázek 48: Profil sondy pro odběr vzorků půdy v lokalitě Oblík

Zdroj: vlastní data autora

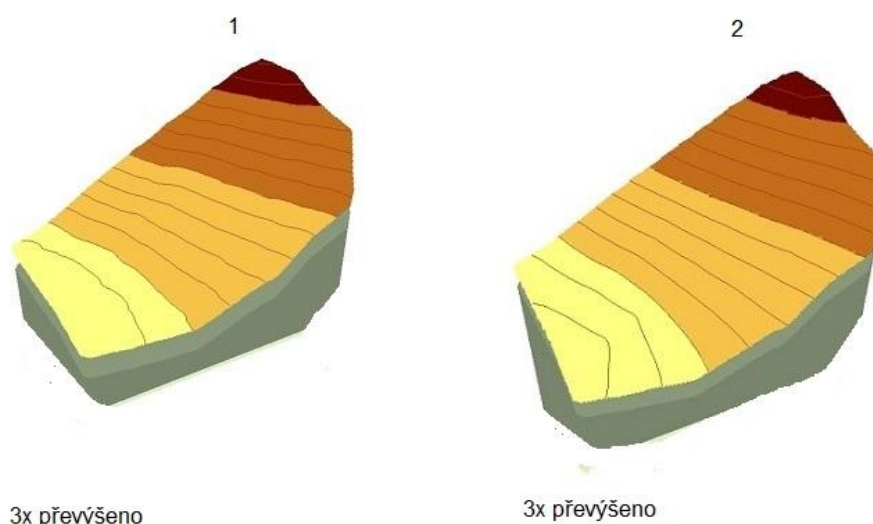
5. 3. 2 Vývoj reliéfu v lokalitě

Rozdíl nadmořských výšek není i díky výše popsaným faktům ve sledovaném období v zájmovém území Oblík tak patrný, k čemuž jistě přispívá současný krajinný pokrov, který půdu lépe chrání. Vyrovnání reliéfu je nejpatrnější v jižním okraji pozemku, kde je také největší mocnost akumulovaného materiálu z vyšších partií lokality.



Obrázek 49: Topografické mapy lokality dnes (1) a před počátkem půdotvorného i erozně - akumulačního procesu (2)

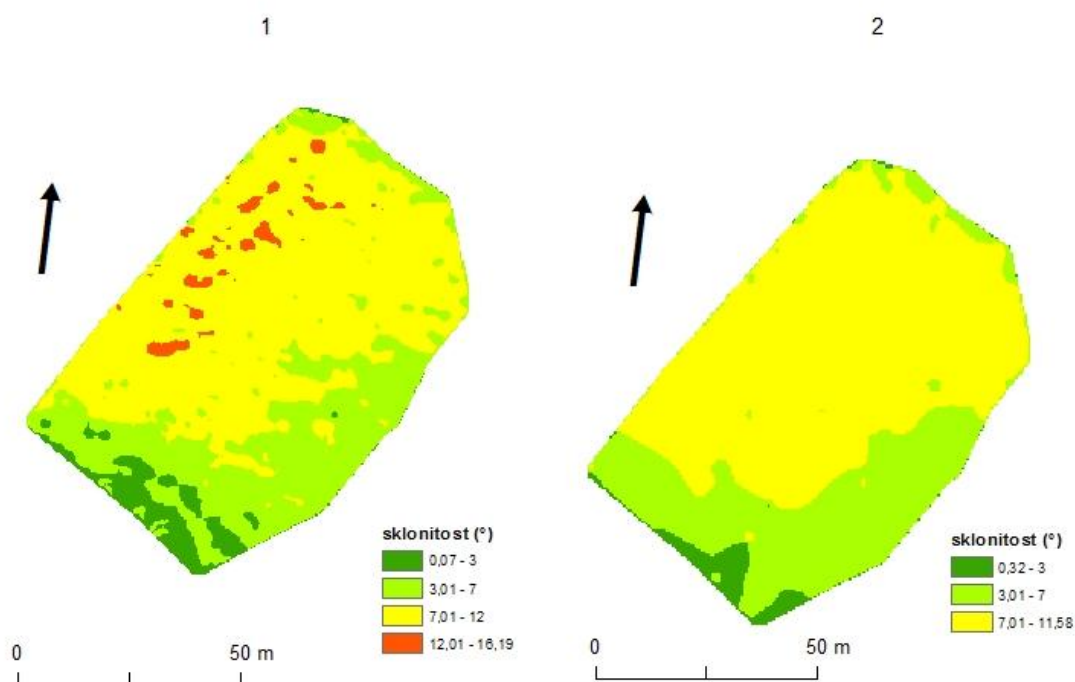
Zdroj: ČÚZK – DMR 5G, vlastní data autora



Obrázek 50: 3D modely reliéfu lokality Oblík, vlevo pod číslem 1 dnešní stav, vpravo pod číslem 2 stav původní

Zdroj: ČÚZK – DMR 5G, vlastní data autora

Další obrázek 51 popisuje rozdíl sklonitosti lokality mezi současností (1) a počátkem erozně akumulčního procesu (2). Došlo ke zvýšení sklonu v lokalitě vlivem eroze, pouze s malou výjimkou v nejnižších místech zájmového území. V současnosti je stav prakticky zakonzervován trvalým travním porostem, který výrazně zpomaluje intenzitu eroze půdy.

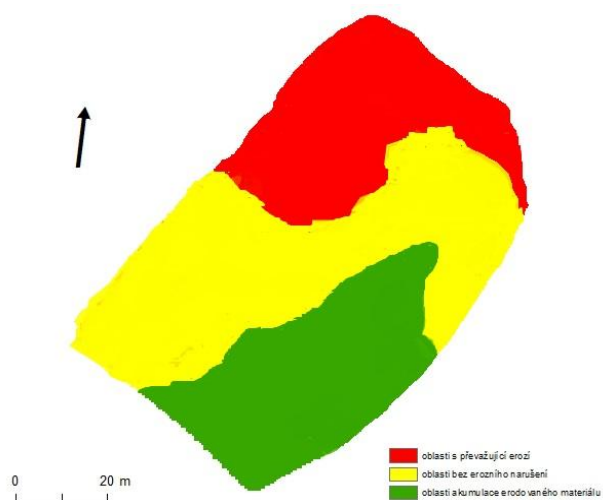


Obrázek 51: Porovnání sklonitosti v lokalitě Oblík dnes (1) a před počátkem erozně akumulčního procesu (2)

Zdroj: ČÚZK – DMR 5G, vlastní data autora

Na celé zájmové lokalitě došlo ke zvýšení nadmořské výšky v řadu desetin metru. Tento fakt je dán nižší intenzitou eroze půdy, v porovnání s předchozími 2 lokalitami. Výraznější akumulace půdy v níže položených částech zájmového území ukazuje na předchozí intenzivní zemědělské využívání zájmové lokality. Toto ostatně potvrzuje i mapa stabilního katastru. Dnes je erozně – akumulční proces na pozemku zastaven vlivem krajinného pokryvu, který tvoří TTP. Tuto skutečnost jsem již uvedl výše.

Erozně nejvíce zasaženou je nejvýše položená oblast na severu lokality, kde je mocnost A horizontu nejmenší. Protikladem je akumulční oblast na jižním okraji lokality, kde se erodovaný materiál akumuloval, než došlo vlivem změny land use na zájmovém území k zastavení erozní činnosti.



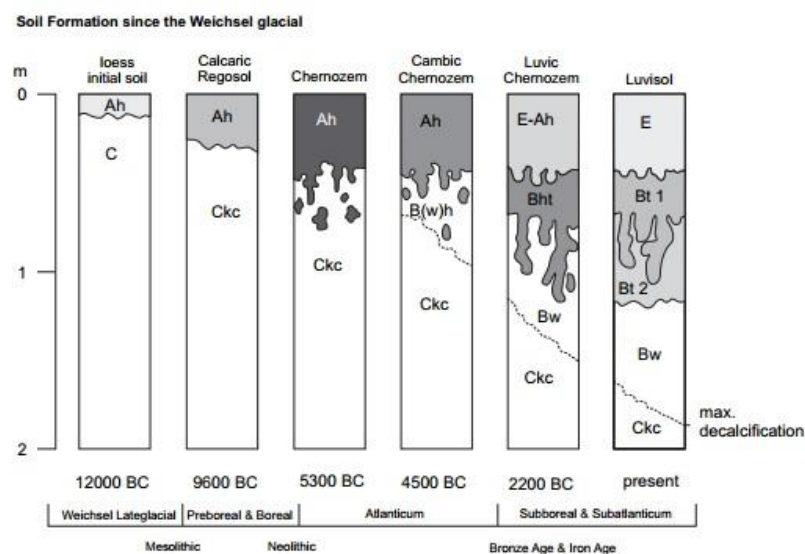
Obrázek 52: Oblasti vývoje reliéfu v lokalitě Oblík, posuzováno podle hloubky humózního horizontu

Zdroj: ČÚZK – DMR 5G, vlastní data autora

6. Shrnutí výsledků a diskuse

6. 1 Půdní kryt vybraných lokalit

U všech 3 vybraných lokalit byla zjištěna změna půdního krytu i reliéfu v důsledku zvýšené dynamiky erozně akumulární činnosti. Dle Langa (2003) závisí intenzita výše uvedených procesů především na land use území, role klimatu je až na druhém místě. Především lokality Brumovice a Vysoká jsou díky své poloze v nejúrodnějších částech státu dlouhodobě intenzivně zemědělsky využívány, a proto zde najdeme mocné koluviální horizonty Azx. Ty dosahují v lokalitě Brumovice hloubky až 3,8 metru, což je maximální mocnost koluvizemě (Zádorová 2008). U dvou výše zmíněných lokalit dochází vlivem eroze k retrográdní přeměně černozemí a hnědozemí na regozem karbonátovou oproti schématu vývoje půd v holocénu z práce Lorze a Saileho (2011), který je na obrázku 53.



Obrázek 53: Vývoj půdních typů od posledního glaciálu
Zdroj: Lorz, Saile 2011

Hloubka půdy v lokalitách 1 a 2 roste s klesající schopností vody odnášet erodovaný materiál z vyšších částí lokality. Vzhledem k intenzitě eroze, kdy dochází téměř k obnažení spraše, která tvoří půdotvorný substrát, se v koluvizemi ukládají nejen organické, ale i minerální látky, jak zmiňuje Zádorová (2010). V lokalitě Oblík není půdní kryt přeměněn tak výrazně jako u dalších 2 zájmových území i mocnost koluviálního horizontu je zde výrazně menší. Tato skutečnost, která byla předpokládána již při výběru lokalit, byla potvrzena sondami přímo v terénu. Dnes je navíc tato lokalita pokryta TTP, který poskytuje půdě dokonalou ochranu proti erozi (Janeček et al. 2002).

Přesto najdeme i v tomto zájmovém území koluvizemě s mocností horizontu Azx zhruba 65 – 70 cm. Jedná se pozůstatky z dřívějšího období, kdy byl pozemek pravidelně kultivován. O tom, že v lokalitě Oblík dříve skutečně byla orná půda, svědčí i vysbírané kameny ukládané mimo pozemek, za účelem snížení skeletovitosti půdy. Rubín a Balatka (1986) tyto útvary nazývají agrárními valy.



Obrázek 54: Agrární val, svědčící o dřívějším intenzivním využívání pozemku, které umožnilo vznik koluvizemě

Zdroj: Tomsu 2014

Všechny lokality ukazují poměrně vysoký obsah karbonátů. Tento fakt lze vysvětlit tím, že půdotvorný substrát všech 3 lokalit tvoří sprašový horizont Ck, pro který jsou typické sekundární karbonáty (např. Bécze – Deák et al. 1997). Zejména v lokalitě Vysoká je obsah karbonátů poměrně překvapivý, dle Lorze a Saileho (2011) jsou luvisoly, které tvoří původní půdní kryt území na konci vývoje půd v holocénu a vykazují maximální dekarbonifikaci. Vysvětlením vysokého obsahu karbonátů i v oblasti luvisolů je pokročilá eroze půdy. Eroze již dosáhla úrovně spraší, takže se koluviálního horizontu dostává velké množství nejen organických, ale i minerálních látek, tento fakt jsem již uvedl o několik řádků výše.

Objemová hmotnost půdy se u většiny půd v České republice pohybuje mezi 1,3 – 1,7 g.cm³ (Marek et al. 2011). Do těchto hodnot se vejdou i téměř všechny vzorky odebrané v sondách. Pouze lokalita Oblík má hodnoty o něco málo nižší než bývá u našich půd obvyklé. Zemědělské půdy na lokalitách Brumovice a Vysoká vykazují nejvyšší objemovou hmotnost těsně pod orničním horizontem, jedná se o velký problém zhutnění těžkou technikou, což ve svých dílech zmiňuje řada autorů, např. Evans et al.

(1996). Pozemek na Oblíku není pravidelně kultivován, proto zde výše uvedené pravidlo neplatí. Šarapatka et al. (2002) uvádí jako kritickou hodnotu objemové hmotnosti pro prorůstání kořenů rostlin $1,7 \text{ kg.m}^3$. Hodnoty v lokalitách 1 a 2 se tomuto limitu přibližují. Vzorky byly odebrány v Kopeckého válečcích. Throop et al. (2012) ve své práci poukazuje na nevýhodu metody odběru vzorků pro určení objemové hmotnosti do válečku se známým objemem (např. Kopeckého váleček), jelikož tato metoda není schopna ukázat variabilitu zkoumané veličiny, navíc dle autora mohou být výsledky zkresleny obsahem skeletu ve válečcích.

Z charakteristik koluvizemí uvedených v tabulkách je velice zajímavým sloupcem obsah uhlíku. Dle Zádorové (2011) se koluvizemě vyznačují vysokou koncentrací půdního uhlíku, který pochází z erodovaných půd a ukládá se v místech akumulace materiálu. Tento fakt potvrzuje i Wang et al. (2014), který zdůrazňuje, že v koluvizemích dochází k depozici a pohřbívání organické hmoty.

Zemědělské půdy jsou celkově vlivem erozně – akumulačního procesu více diferenciovány než půdy lesní, tento efekt potvrdily i výsledky terénního průzkumu v práci. Dle Klimovicze a Uziaka (2001) bude trend diferenciací při současném land use do budoucna pokračovat, i když jeho intenzita bude pravděpodobně zpomalovat vlivem zarovnávání reliéfu erozními procesy

6. 2 Vývoj reliéfu ve vybraných lokalitách

U všech 3 lokalit došlo k vyrovnávání reliéfu vlivem akumulace půdy v místech, kde voda ztrácí schopnost odnosu erodovaného materiálu. Zatímco u lokalit 1 a 2 se zvýšení reliéfu od počátku půdotvorného procesu pohybuje v řádu metrů, u lokality Oblík je to pouze v řádu desítek centimetrů. Lűning et al. (1997) dává počátek antropogenního vlivu na zrychlení eroze do souvislosti již s neolitickou revolucí, tedy do období před cca 7 500 lety. V důsledku změny land use se ve Střední Evropě zvyšuje intenzita eroze a vznikají také první koluvia při úpatích svahů (Dotterweich 2013).

Již při prvním pohledu na obrázky, které znázorňují tvar reliéfu dnes a před počátkem půdotvorného i erozně akumulačního procesu je jasně patrné, že dříve byly na modelových pozemcích větší výškové rozdíly, tudíž i svahy měly vyšší sklon. Podobně se ve své práci vyjadřuje Kadereit et al. (2010). Snížení výškových rozdílů se

týká především lokalit Brumovice a Vysoká, které jsou postiženy výraznou erozí a následnou změnou reliéfu.

Nejsvrchnější partie zájmových pozemků zůstávají poměrně stabilní a dominuje v nich přirozený půdotvorný proces, změna reliéfu v důsledku zvýšené erozně akumulární činnosti je zde minimální.

Celková změna reliéfu v lokalitách Brumovice a Vysoká spočívá především ve snížení výškových rozdílů díky akumulaci půdy ve sníženinách, s tím souvisí také snížení hodnot sklonu na pozemcích. Tento jev má nepochybně původ ve zrychlené erozi půdy vlivem lidské činnosti (Kadereit et al. 2010). Historie vlivu člověka na reliéf a půdní kryt sahá již několik tisíc let zpět do období pravěku. Přímé datování je však velice složité. Změny reliéfu v lokalitě Oblík nejsou tak významné, přesto i zde byl potvrzen předpoklad snížení výškového rozdílu v lokalitě.

Na závěr této části je přiložen aktuální snímek lokality Brumovice z března 2015, který ukazuje, že zřejmě i v letošním roce bude díky land use lokality a nesprávnému způsobu orby opět pokračovat intenzivní erozně akumulární proces na tomto území.



Obrázek 55: Aktuální snímek lokality Brumovice v březnu 2015
Zdroj: vlastní fotografie autora

7. Závěr

Tato práce byla zaměřena na analýzu změn půdního krytu a reliéfu v důsledku zvýšené erozně akumulární činnosti na vybraných lokalitách. Pro výzkum byly vybrány 3 lokality v České republice s odlišnými fyzicko geografickými charakteristikami. Jedná se území Brumovice, Vysoká a Oblík. Na těchto územích byla provedena analýza půdního krytu pomocí sítě sond a též v závěrových profilech odebrány vzorky pro určení vlastností koluvizemí v těchto lokalitách.

Erozně akumulárním procesem se výrazně mění struktura půdního krytu. Roste kontrast mezi půdami konvexních ploch blíže rozvodí, půdami konkávních svahů a půdami sníženin a suchých údolí. Tento proces postihuje výhradně zemědělské půdy, půdotvorný substrát z nepevných terciérních a kvarterních sedimentů, spolu s intenzivním zemědělským využíváním území erozně akumulární proces urychluje. Hloubka A horizontu půdy je zachycena na příčných řezech a také v podélném řezu sníženinami na lokalitách. Na základě získaných hodnot byly dopočítány některé vlastnosti koluvizemí v těchto lokalitách. Druhá část výsledků práce se zabývá vývojem reliéfu v lokalitě od konce posledního glaciálu. Na všech územích zpracovaných v práci byla prokázána změna vlivem zvýšené dynamiky erozně akumulární činnosti. Nejvyšší nárůst nadmořské výšky je v lokalitě Brumovice, rozdíl oproti počátku erozně akumulárního procesu je zde téměř 4 metry. Bylo dokázáno, že antropogenní faktor změny využití půdy, způsobuje významné geomorfologické změny v reliéfu vlivem zvýšené intenzity eroze půdy. Otázkou pro případný další výzkum zůstává objemové vyjádření těchto změn a také jejich přesné datování.

ZDROJE

Literatura

- BAGARELLO, V. et al. (2012): Estimating the USLE soil erodibility factor in Sicily, south Italy. *Applied engineering in Agriculture*, č. 28, s. 199 – 206
- BALATKA, B., KALVODA, J. (2006): Geomorfologické členění reliéfu Čech – 1. vydání. Kartografie Praha, Praha, 79 s.
- BATJES, N. H. (1996): Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*. č. 47, s. 151 – 163.
- BÉCZE – DEÁK, J. et al. (1997): Small scale secondary CaCO₃ accumulations in selected sections of the European loess belt. Morphological forms and potential for paleoenvironmental reconstruction. *Geoderma*, 78, s. 221 – 252
- BORELLI, P. et al. (2014): Wind erosion susceptibility of European soils. *Geoderma*, 232 – 234, s. 471 – 478
- BORK, H – R (1998): Landschaftsentwicklung in Mitteleuropa. Klett – Perthes, Berlín, 328 s.
- BRÁZDIL, R. et al. (2005): Historické a současné povodně v České republice. Masarykova univerzita, Brno, 369 s.
- BUZEK, L. (1983): Eroze půdy. Pedagogická fakulta, Ostrava, 257 s.
- CULEK, M. et al. (1996): Biogeografické členění České republiky. Enigma, Praha, 347 s.
- DANIHELKA, J. (2009): Nálezy a ztráty jihomoravských slanisek – hvězdnice sivá. *ŽIVA*, č. 3, s. 107 – 109
- DAVIS, W. M. (1909): *Geographical Essays*. Ginn and Co., New York, 777 s.
- DEMEK, J. (1987): *Obecná geomorfologie*. Academia, Praha, 476 s.
- DEMEK, J. (1987): *Zeměpisný lexikon ČSR*. Academia, Praha, 584 s.
- DOTTERWEICH, M. (2008): The history of soil erosion and fluvial deposits in small catchments of central Europe :Deciphering the long-term interaction between humans and the environment — A review. *Geomorphology*, č. 101, s. 192 – 208
- DOTTERWEICH, M. (2013): The history of human-induced soil erosion: Geomorphic legacies, early descriptions and research, and the development of soil conservation — A global synopsis. *Geomorphology*, 201, s. 1 – 34

- EVANS, D. S. et al. (1996): Effect of subsoiling and subsequent tillage on soil bulk density, soil moisture, and corn Field. *Soil and Tillage Research* , 38, s. 35 – 46
- FAO (2006): *World Reference Base for Soil Resources*. FAO, Rome.
- FRECHEN, M. et al. (2003): Loess in Europe—mass accumulation rates during the Last Glacial Period. *Quaternary Science Reviews*. č. 22, s. 1835 – 1857
- HOLÝ, M. (1994): *Eroze a životní prostředí*. ČVUT, Praha, 383 s.
- CHLUPÁČ, I. et al. (2002): *Geologická minulost České republiky*. Academia, Praha, 436 s.
- INRA (1995): *Référentiel pédologique*. INRA, Paris, 332 s.
- JANEČEK, M. (1994): *Pozemkové úpravy (bonitace půd a pedologie)*. MV ČR, Praha, 68 s.
- JANEČEK, M. et al. (2002): *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. ISV, Praha, 201 s.
- JANEČEK, M. (2007): *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Metodika. VÚMOP, Praha, 76 s.
- KADEREIT, A. et al. (2010): Holocene relief and soil changes in loess-covered areas of south-western Germany: The pedosedimentary archives of Bretten-Bauerbach (Kraichgau). *Quaternary International*, 222, s. 96 – 119
- KLIMOVICZ, Z., UZIAK, S. (2001): The influence of long-term cultivation on soil properties and patterns in an undulating terrain in Poland. *Catena*. 43, s. 177 – 189
- KUNA, P. (2010): *Změny krajinného pokryvu na příkladu vrcholové části Oblíku (České Středohoří)*. Bakalářská práce, KFGG, Praha, 108 s.
- LANG, A. (2003): Phases of soil erosion-derived colluviation in the loess hills of South Germany. *Catena*, 51, s. 209 – 221
- LANGHAMMER, J. et al. (2007): *Povodně a změny v krajině*. KFGG, Praha, 396 s.
- LEOPOLD, M., VÖLKEL, J. (2006): Colluvium: Definition, differentiation, and possible suitability for reconstructing Holocene climate data. *Quaternary International*, 162 – 163, s. 133 – 140
- LORZ, T., SAILE, T. (2011): Anthropogenic pedogenesis of Chernozems in Germany? – A critical review. *Quaternary International*, 243, s. 273 – 279
- LOŽEK, V. (1967): *Příroda ve čtvrtohorách*. Academia, Praha, 372 s.
- LÜNING, J. (1997): *Deutsche Agrargesichte – Vor und Frühgesichte*. Ulmer, Stuttgart, 479 s.

- LYLES, L. (1988): Basic wind erosion process. Agriculture, ecosystems and environment, č. 22/23, s. 91 – 101
- MAREK, M. et al. (2011): Uhlík v ekosystémech České republiky v měnícím se klimatu. Academia, Praha, 253 s.
- NĚMEČEK, J. et al. (1990): Pedologie a paleopedologie. Academia, Praha, 546 s.
- NĚMEČEK, J. et al. (2011): Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. ČZÚ, Praha, 94 s.
- NEUHÄUSLOVÁ, Z. et al. (1998): Mapa potenciální přirozené vegetace České republiky. Academia, Praha, 341 s
- RENARD, K. et al. (1991): Revised universal soil loss equation. Journal of soil and water conservation, č. 46, s. 30 – 33
- RUBÍN, J., BALATKA, B. et al. (1986): Atlas skalních, zemních a půdních tvarů. Academia, Praha, 268 s.
- RŮŽIČKOVÁ, E. et al. (2001): Quarternary clastic sediments of the Czech Republic. ČGÚ, Praha, 68 s.
- SUCHARA, I. (2007): Praktikum vybraných ekologických metod. Karolinum, Praha, 134 s.
- ŠARAPATKA, B. (2002): Kvalita a degradace půdy. UP Olomouc, Olomouc, 246 s.
- ŠTYCH, P. et al. (2008): Vybrané funkce geoinformačních systémů. Univerzita Karlova, Praha, 178 s.
- THROOP, H. et al. (2012): When bulk density methods matter: Implication for estimating soil organic carbon pools in rocky soils. Journal of Arid Environments, 77. s. 66 – 71
- TOLASZ, R. et al. (2007): Atlas podnebí České republiky. ČHMÚ Praha + UP Olomouc, Praha, Olomouc, 255 s.
- TOMÁŠEK, M. (2003): Půdy České republiky. ČGS, Praha, 68 s.
- TOMSU, S. (2014): Etude de l'évolution d'un système de haies anciennes : le cas de l'évolution de la colline d'Oblík en République Tchèque – diplomová práce, Univerzita Karlova, KFGG, Praha, 80 s.
- VAN OOST, K. et al. (2006): Tillage erosion: a review of controlling factors and implications for soil quality. Progress in physical geography, 30, s 443 – 466
- WANG, Z. et al. (2010): Catchment-scale carbon redistribution and delivery by water erosion in an intensively cultivated area, Geomorphology, 124, s. 65 – 74,

- WANG, Z. et al. (2014): The fate of buried organic carbon in colluvial soils: a long-term perspective. *Biogeosciences*, 11, s 873 – 883
- WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. (1978): Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning. USDA, Washington DC, 58 s.
- ZÁDOROVÁ, T. et al. (2008): Proposal for a Method for Colluvisol Delineation in Chernozem Region. *Soil and water research*, 3, s. 215 – 222
- ZÁDOROVÁ, T. (2010): Koluvizemě - jejich charakteristika a problematika plošného vymezení ve vybraných oblastech České republiky – dizertační práce, Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, KFGG, Praha, 149 s.
- ZÁDOROVÁ, T. et al. (2011): Spatial delineation of organic carbon-rich Colluvial soils in Chernozem regions by Terrain analysis and fuzzy classification. *Catena*, 85, s. 22 – 33
- ZACHAR, D. (1970): *Erózia pôdy*. Slovenská akadémia ved, Bratislava, 528 s.

Internet

- VÚMOP 2015. Projekt vodní eroze [online]. [cit. 2015 – 25 - 06]. Dostupné z URL: <http://geoportal.vumop.cz/index.php?projekt=vodni&s=mapa>
- Obrázek 1:** Těžba sedimentu v Luhačovické přehradě na Zlínsku [online] [cit. 2015 – 22 - 02]. Dostupné z URL: http://i.idnes.cz/10/113/cl6/TOI37571f_162709_1667436.jpg
- Obrázek 2:** Erozní rýhy ve svahu v oblasti Prahy 14 [online]. [cit. 2015 – 22 - 02]. Dostupné z URL: http://www.geocaching.com/geocache/GC3E9Z2_uhli-v-praze-coal-in-prague?guid=731dbdbf-bd86-4f1f-b1b6-c6a3cc78a296
- Obrázek 3:** Eroze půdy v kukuřici, Kladno u Hlinska, okres Chrudim, rok 1998 [online]. [cit. 2015 – 23 - 02]. Dostupné z URL: http://www.hydromeliorace.cz/povodi/zejbro/foto/kukurice_eroze2.jpg 25. 1.
- Obrázek 4:** Prachové bouře jsou příkladem pohybu částic v suspenzi [online]. [cit. 2015 – 23 - 02]. Dostupné z URL: http://geologie.vsb.cz/jelinek/Nauka_o_Zemi_PTO_hm_files/540.jpg

Obrázek 6: Rozorání mezí na počátku 50. let [online]. [cit. 2015 – 26 - 02]. Dostupné z URL:

<http://www.ustrcr.cz/data/images/citanka-kolektivizace/kult-traktoru/foto04.jpg>

Obrázek 7: Schéma pohřbívání starších vrstev v koluvizemi [online].

[cit. 2015 – 26 - 02]. Dostupné z URL:

<https://soils.ifas.ufl.edu/faculty/grunwald/teaching/eSoilScience/primary.shtml>

Obrázek 13: Kobylské jezero na vojenské mapě z roku 1840 [online].

[cit. 2015 – 08 - 03]. Dostupné z URL:

http://www.geocaching.com/geocache/GC1FZ5K_kobylske-jezero?guid=9cee6592-a662-46bc-930f-395b988332e0

Obrázek 14: Letecký snímek okolí lokality Brumovice v roce 1953 [online].

[cit. 2015 – 20 - 03]. Dostupné z URL:

<http://kontaminace.cenia.cz/>

Obrázek 16: Letecký snímek okolí lokality Vysoká z roku 1954 [online].

[cit. 2015 – 20 - 03]. Dostupné z URL:

<http://kontaminace.cenia.cz/>

Obrázek 17: Letecký snímek zájmového území v lokalitě Oblík [online].

[cit. 2015 – 08 - 03]. Dostupné z URL:

<https://mapy.cz/zakladni?x=13.8076475&y=50.4067818&z=19&base=ophoto>

Obrázek 19: Letecký snímek jižního svahu Oblíku v roce 1952 [online].

[cit. 2015 – 20 - 03]. Dostupné z URL:

<http://kontaminace.cenia.cz/>

Obrázek 22: Důkaz výrazné eroze v lokalitě, zachycené kamerou na autě při mapování v květnu 2013 [online].

[cit. 2015 – 20 - 03]. Dostupné z URL:

<https://mapy.cz/zakladni?x=16.8810845&y=48.9690434&z=16&l=2&pano=1&base=ophoto&pid=1327427&yaw=2.462&fov=1.257>

Zdroje ostatních obrázků jsou citovány v podkapitolách 8.1 a 8.3 nebo jsou obrázky vlastními fotografiemi a díly autora.

Mapové podklady

ARC Data Praha: Arc ČR, verze 3.0, digitální geografická databáze

ČÚZK: Digitální model reliéfu 4. generace (DMR 4G)

ČÚZK: Digitální model reliéfu 5. generace (DMR 5G)

ČÚZK: Mapy stabilního katastru